



Αναβάθμιση σε ευφυές ηλεκτρικό δίκτυο και διαχείριση της  
ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Γεώργιος Ν.Ανδρίτσου**

**Επιβλέποντες Καθηγητές:**

Ελευθέριος Τσουκαλάς  
Καθηγητής Π.Θ

Παναγιώτα Τσομπανοπούλου  
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Π.Θ

Διπλωματική Εργασία υποβληθείσα ως μέρος των απαιτήσεων του  
Προγράμματος Προπτυχιακών Σπουδών του τμήματος

**Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών**



**Βόλος 2016**



# Upgrade to Smart Grid and Demand Side Management

## DIPLOMA THESIS

**Georgios N. Andritsou**

**Supervisors:**

Eleutherios Tsoukalas  
Professor UTH

Panagiota Tsompanopoulou  
Associate Professor UTH

This Diploma Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the  
undergraduate program in the

**Department of Electrical and Computer Engineering**



**Volos 2016**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
Πολυτεχνική Σχολή Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και  
Μηχανικών Υπολογιστών

**Αναβάθμιση σε ευφυές ηλεκτρικό δίκτυο και διαχείριση της ζήτησης  
ηλεκτρικής ενέργειας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Ν. Ανδρίτσου

(Υπογραφή)

.....  
ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ ΤΣΟΥΚΑΛΑΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Θ

(Υπογραφή)

.....  
ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ ΤΣΟΜΠΑΝΟΠΟΥΛΟΥ  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

(Υπογραφή)

.....

ΑΝΔΡΙΤΣΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

© 2016 – ALL RIGHTS RESERVED

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών

COPYRIGHT © ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΝΔΡΙΤΣΟΥ, 2016

ΜΕ ΕΠΙΦΥΛΑΞΗ ΠΑΝΤΟΣ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΟΣ. ALL RIGHTS RESERVED

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα κενή

## Ευχαριστίες

Με την παρούσα εργασία περατώνονται οι σπουδές μου στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Τσουκαλά Ελευθέριο- Καθηγητή και επιβλέπων της διπλωματικής- για την εμπιστοσύνη και το ενδιαφέρον που έδειξε κατά την ανάθεση της εργασίας και για την σημαντικότερη και απαραίτητη καθοδήγησή του, καθώς επίσης και την κυρία Τσομπανοπούλου Παναγιώτα –Αναπληρώτρια Καθηγήτρια και συνεπιβλέπουσα της διπλωματικής.

Με καθοδήγησαν με τρόπο καταλυτικό, αντιμετωπίζοντας τις όποιες δυσκολίες προέκυψαν.

Τέλος οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, για την πολύτιμη υπομονή και στήριξη τους προς το πρόσωπο μου όλα αυτά τα χρόνια.

Ανδρίτσου Γεώργιος

Βόλος, 2016

## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η μετάβαση από το συμβατικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας στα Ευφυή Ηλεκτρικά Δίκτυα. Τα σύγχρονα συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας έχουν αρχίσει να ενσωματώνουν πλήθος ψηφιακών τεχνολογιών και νέων ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων στην παραγωγή, στην μεταφορά στην διανομή και στην κατανάλωση της Ηλεκτρικής Ενέργειας. Τα δίκτυα που επιτυγχάνουν την πιο αξιόπιστη, πιο αποδοτική και με λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις λειτουργία τους αξιοποιώντας τις παραπάνω τεχνολογίες, χαρακτηρίζονται ως Ευφυή Ηλεκτρικά Δίκτυα.

Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται το παραδοσιακό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα δομικά στοιχεία του συστήματος και στο επικρατές μείγμα της ηλεκτροπαραγωγής σε χώρες του εξωτερικού και στην Ελλάδα (Διασυνδεδεμένο και μη Σύστημα). Τέλος αναφέρεται η δομή της αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, οι διακριτοί ρόλοι των φορέων καθώς και η μετάβαση προς την απελευθερωμένη αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Στο κεφάλαιο 2 αντιπαραβάλλονται τα μοντέλα της συγκεντρωτικής και της διεσπαρμένης παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν. Γίνεται αναφορά στο σύστημα SCADA καθώς και στα προβλήματα ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και αξιοπιστίας του παραδοσιακού συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Στο κεφάλαιο 3 αναλύονται οι κυριότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας λόγω της ευρωπαϊκής και της εγχώριας ενεργειακής πολιτικής. Συγκεκριμένα, αναλύεται ο εθνικός ενεργειακός σχεδιασμός 20-20-20, τα σχέδια δράσης ενεργειακής αποδοτικότητας καθώς και ο εθνικός ενεργειακός σχεδιασμός για το 2050.

Το κεφάλαιο 4 αποτελεί το σημαντικότερο κεφάλαιο της εργασίας. Παρουσιάζονται λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά του Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου και τα οφέλη που προκύπτουν από αυτό. Διατυπώνονται οι τεχνολογίες επικοινωνίας που χρειάζονται για τη μετάδοση δεδομένων του δικτύου και παρουσιάζεται το ευφύες Δίκτυο Διανομής και Μεταφοράς. Τέλος δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας μέσω του Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου καθώς και στην νέα εποχή που θα προσδώσει στο δίκτυο η επικράτηση του ηλεκτρικού αυτοκίνητου.

Στο κεφάλαιο 5 ορίζονται οι έξυπνοι μετρητές Ηλεκτρικής Ενέργειας και καταγράφεται η συμβολή τους στο Ευφύες Ηλεκτρικό Δίκτυο. Παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά τους καθώς και τα οφέλη που προκύπτουν από την εγκατάστασή τους. Γίνεται επίσης αναφορά στα στάδια εγκατάστασης έξυπνων μετρητών στην Ελλάδα, παρουσιάζοντας το ολοκληρωμένο σύστημα τηλεμέτρησης πελατών μέσης και χαμηλής τάσης υψηλής ισχύος και το πιλοτικό σύστημα τηλεμέτρησης και διαχείρισης της ζήτησης οικιακών καταναλωτών και μικρών επιχειρήσεων.

Στο κεφάλαιο 6 γίνεται εισαγωγή στα προγράμματα και τις τεχνικές της διαχείρισης της ζήτησης. Η διαχείριση της ζήτησης κατηγοριοποιείται σε δράσεις ενεργειακής αποδοτικότητας και σε προγράμματα απόκρισης της ζήτησης. Παρουσιάζονται τα οφέλη ανά τομέα και δίνονται παραδείγματα και αποτελέσματα της εφαρμογής τους.



# Abstract

This thesis shows the transition from the traditional power energy system to a smarter electric grid. Modern power systems have begun to implement many digital technologies and new electromechanical systems in the production, transportation, distribution and consumption of electric energy. The networks utilizing these technologies, while becoming more reliable, efficient and less environmental pollutants, are characterized as Smart Grids.

Chapter 1 presents the traditional power energy system. Particular emphasis is given to the components of the system and the production of energy power abroad and in Greece (grid connected and non-connected system). Finally, details of the structure of the electricity market are given, while the distinct role of independent administrative authorities (such as Regulatory Authority of Energy) is analyzed. Those authorities are quite important to the transition to a liberated electricity market.

In chapter 2, the contrasted models of centralized and decentralized electricity production are presented with their advantages and disadvantages. Reference is also made to the SCADA system, the problems of electromechanical equipment and the reliability issues of the traditional power system.

Chapter 3 analyzes the main challenges that the power grids of today are facing while the European and domestic energy policy is implemented. Specifically, details of the national energy planning 20-20-20, the energy efficiency action plans and the national energy planning for 2050 are given.

Chapter 4 is the most important part of this thesis. Details, characteristics and of course the benefits that arise from the Smart Grid networks are shown. Communication technologies needed for the data transmission network are presented along with the Smart Distribution and Transmission Network. Finally great importance is given to the role played by the storage of electricity on Smart Grids and to the new era that will give the network the presence of the electric vehicle.

Chapter 5 describes the smart meters and notes their contribution to the Smart Grid. The features and the benefits arising from their installation are presented. Reference is also made to the steps made towards the smart meter installation in Greece.

Chapter 6 provides an introduction to Demand Side Management programs. DSM is categorized into energy efficiency actions and demand response programs. This chapter provides the benefits by sector and displays examples of DSM and their results.

# Περιεχόμενα

<b>1.ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....</b>	<b>1</b>
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	2
1.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....	3
1.3.1 Σύστημα Μεταφοράς.....	3
1.3.2 Δίκτυο Διανομής .....	8
1.4 ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ .....	11
1.4.1 Εισαγωγή.....	11
1.4.2 Ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα .....	13
1.5 ΑΓΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	17
1.5.1 Εισαγωγή.....	17
1.5.2 «Παίκτες» της αγοράς.....	19
1.5.3 Βραχυχρόνια – χονδρεμπορική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας .....	20
1.5.4 Μηχανισμός της Αγοράς Μακροχρόνιας Διαθεσιμότητας Ισχύος.....	26
<b>2. ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....</b>	<b>27</b>
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	27
2.2 ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	28
2.2.1 Συγκεντρωτική παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	28
2.2.2 Διεσπαρμένη παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	31
2.3 SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION.....	36
2.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	40
2.5 ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	41
2.5.1 Απαιτήση για αλλαγή των αιτιοκρατικών κριτηρίων σχεδιασμού και λειτουργίας.....	43
2.6 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ .....	45
<b>3.ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ.....</b>	<b>46</b>
3.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ: ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΚΙΟΤΟ .....	46
3.2 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΚΑΙ ΕΓΧΩΡΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ.....	48
3.3 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ “20-20-20” .....	49
3.3.1 Εθνικός ενεργειακός σχεδιασμός “20-20-20” .....	50
3.4 ΟΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΓΙΑ ΤΟ 2050 .....	52
3.4.1 Εθνικός στόχος για το 2050 .....	53
3.5 Η ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (E-VEHICLES).....	55
<b>4.ΤΟ ΕΥΦΥΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ .....</b>	<b>56</b>
4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ .....	56
4.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΥΦΥΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	57
4.3 ΟΦΕΛΗ ΤΟΥ ΕΥΦΥΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	61
4.4 ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΥΦΥΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ .....	62
4.4.1 Αρχιτεκτονική δικτύων επικοινωνίας Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου .....	62
4.4.2 Τεχνολογίες επικοινωνίας.....	64
4.4.3 Κριτήρια επιλογής τεχνολογίας επικοινωνίας .....	68
4.5 ΕΥΦΥΗ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ- SMART DISTRIBUTION SYSTEMS .....	69
4.5.1 Αυτοματοποίηση Δικτύου Διανομής (Distribution Automation – DA).....	70
4.5.2 Οφέλη των Ευφύων Δικτύων Διανομής.....	71
4.6 ΕΥΦΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – SMART TRANSMISSION SYSTEMS.....	73
4.6.1 Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας-(Energy Management System- EMS) .....	74
4.6.2 High Voltage Direct Current – HVDC.....	74

4.6.3 Ευέλικτα Συστήματα Μεταφοράς Εναλλασσόμενου Ρεύματος (Flexible AC Transmission Systems – FACTS ) .....	76
4.7 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ – GRID ENERGY STORAGE .....	77
4.7.1 Χαρακτηριστικά συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και η συνεισφορά τους στο δίκτυο .....	78
4.7.2 Ταξινόμηση διατάξεων με βάση τη διάρκεια αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας .....	80
4.7.3 Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας .....	80
4.8 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ (ELECTRIC VEHICLE-EV) .....	84
4.8.1 V2G (Vehicle to Grid – Ηλεκτρικό Οχήμα που συνδέεται στο Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας) .....	85
4.8.2 Το E-Vehicle ως μέσο αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας υψηλής απόδοσης .....	86
4.8.3 V2H (Vehicle to Home) – V2B (Vehicle to Business) .....	87
4.8.4 Οι σταθμοί φόρτισης EV .....	87
4.8.5 Εγχώριο νομικό πλαίσιο .....	88
<b>5. ΞΕΥΠΝΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....</b>	<b>88</b>
5.1 ΟΡΙΣΜΟΣ .....	88
5.2 ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΞΕΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ .....	89
5.3 ΕΙΔΗ ΜΕΤΡΗΤΩΝ .....	93
5.3.1 Συμβατικός μετρητής .....	93
5.3.2 Ξευπνος Μετρητής .....	94
5.4 ΕΙΔΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	95
5.4.1 Συμβατική καταγραφή μετρήσεων (Conventional Meter Reading) .....	95
5.4.2 Ξευπνα μετρητικά συστήματα .....	96
5.4.3 Meter Data Management System (MDMS) .....	96
5.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΫΠΟΘΕΤΟΥΝ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ ΞΕΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ .....	98
5.6 ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΟΥΝ ΠΡΟΣΟΧΗΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗΣ .....	98
5.7 ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ .....	99
5.7.1 Ολοκληρωμένο σύστημα τηλεμέτρησης πελατών Μέσης Τάσης .....	100
5.7.2 Σύστημα τηλεμέτρησης μεγάλων πελατών Χαμηλής Τάσης .....	100
5.7.3 Πιλοτικό σύστημα τηλεμέτρησης και διαχείρισης της ζήτησης οικιακών καταναλωτών και μικρών επιχειρήσεων .....	101
5.7.4 Μελλοντικοί στόχοι του Διαχειριστή των Δικτύων Διανομής .....	101
<b>6. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ – DEMAND SIDE MANAGEMENT .....</b>	<b>103</b>
6.1 ΟΡΙΣΜΟΣ .....	103
6.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ DEMAND SIDE MANAGEMENT – ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ .....	104
6.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ .....	105
6.3.1 Ενεργειακή αποδοτικότητα – energy efficiency (EE) .....	106
6.3.2 Απόκριση της ζήτησης – Demand Response (DR) .....	109
6.3.3 Τηλεπικοινωνιακές απαιτήσεις σε DR προγράμματα .....	115
6.4 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ DEMAND SIDE MANAGEMENT ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	116
6.5 ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ .....	117
<b>7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>124</b>

# 1. Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

## 1.1 Εισαγωγή

Η εμφάνιση του ηλεκτρισμού δρομολόγησε τη δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση. Οι συνθήκες της παραγωγής άλλαξαν ριζικά με την εισαγωγή της νέας μορφής ενέργειας, που αντικατέστησε τον ατμό, το πετρέλαιο και το φωταέριο. Η Ηλεκτρική Ενέργεια προσέφερε μεγάλη οικονομία, ασφάλεια, υψηλή ποιότητα και μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Οι ηλεκτροκινητήρες, μικροί και ευέλικτοι, έδωσαν τη δυνατότητα να αναπτυχθεί μια νέα παραγωγική δομή στα εργοστάσια. Όταν η Ηλεκτρική Ενέργεια άρχισε να παράγεται και να διανέμεται ευρύτερα, η βιομηχανία, αλλά και οι πόλεις, έλαβαν νέα μορφή.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ξεκίνησε την τελευταία 20ετία του 19ου αιώνα. Το 1881 λειτούργησε η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος ισχύος 746 KW μεταξύ Λονδίνου και Πόρτσμουθ. Τη γεννήτρια κινούσαν δύο υδρόμυλοι και η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος εξαρτιόταν απολύτως από τις βροχοπτώσεις. Το επόμενο έτος εγκαταστάθηκε η πρώτη μονάδα παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας στη Στουτγάρδη της Γερμανίας. Πρέπει να αναφερθεί ότι εκείνη η μονάδα παραγωγής της Στουτγάρδης παρήγαγε ενέργεια για 30 λάμπες πυρακτώσεως. Η δημιουργία δικτύων ξεκίνησε στο Βερολίνο το 1885. Το δικαίωμα της εταιρείας παραγωγής αφορούσε την εγκατάσταση δικτύου σε απόσταση 800m από τη μονάδα παραγωγής. Η δεκαετία 1880-1890 υπήρξε μια δεκαετία τεράστιας ανάπτυξης και εξέλιξης της νέας τεχνολογίας. Εφευρέτες και κατασκευαστές προσπάθησαν να επιλύσουν τα προβλήματα που συναντούσαν και να εξελίξουν τις μεθόδους και τις διαδικασίες.

Ο ηλεκτρισμός στην Ελλάδα έφθασε το 1889, όταν ιδιωτική εταιρεία κατασκεύασε την πρώτη μονάδα παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας και φώτισε το ιστορικό κέντρο της πόλης της Αθήνας. Την ίδια χρονιά άρχισε και η ανάπτυξη της ηλεκτροπαραγωγής στην Οθωμανική Αυτοκρατορία.

Μέχρι το 1929 είχαν ηλεκτροδοτηθεί 250 πόλεις με πληθυσμό άνω των πέντε χιλιάδων κατοίκων. Στις περισσότερες απομακρυσμένες και αραιοκατοικημένες περιοχές, όπου ήταν οικονομικά ασύμφορο για τις μεγάλες εταιρείες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας, την ηλεκτροδότηση ανέλαβαν ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια. Το 1950 υπήρχαν στην Ελλάδα περίπου 400 εταιρείες παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ως πρωτογενή καύσιμα χρησιμοποιούσαν το πετρέλαιο και το γαιάνθρακα, αμφότερα εισαγόμενα από το εξωτερικό.

Η κατάτμηση της παραγωγής σε πολλές μικρές μονάδες, σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, ωθούσε την τιμή της Ηλεκτρικής Ενέργειας στα ύψη, φθάνοντας στο τριπλάσιο μέχρι και πενταπλάσιο των τιμών που ίσχυαν σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Η Ηλεκτρική Ενέργεια αποτελούσε, λοιπόν, ένα αγαθό πολυτελείας, αν και τις περισσότερες φορές παρεχόταν με ωράριο και οι ξαφνικές διακοπές ήταν σύνηθες φαινόμενο.

Το 1950 ιδρύθηκε η ΔΕΗ και, ως εκ τούτου, οι δραστηριότητες παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της Ενέργειας συγκεντρώθηκαν σε ένα δημόσιο φορέα. Αμέσως, η ΔΕΗ στράφηκε προς την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας ενώ ξεκίνησε και η ενοποίηση των δικτύων μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας σε ένα εθνικό διασυνδεδεμένο Σύστημα.

Οι βασικές δομές αυτού του Συστήματος διατηρούνται μέχρι σήμερα παρά τις σημαντικές αλλαγές που έχουν συμβεί τα τελευταία χρόνια. [1]

## 1.2 Παραγωγή, Μεταφορά και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σύστημα Ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) είναι το σύστημα των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή Ηλεκτρικής Ενέργειας σε περιοχές εξυπηρέτησης. Βασικές προϋποθέσεις καλής λειτουργίας ενός ΣΗΕ είναι να παρέχει Ηλεκτρική Ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τις ελάχιστες οικολογικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας σταθερή τάση, σταθερή συχνότητα και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης. [1]

Σε ένα σύστημα ΗΕ περιλαμβάνονται τα επιμέρους συστήματα:

- Το σύστημα παραγωγής

Περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και τους μετασχηματιστές ανύψωσης της τάσης για τη μεταφορά του ρεύματος υπό υπερυψηλή και υψηλή τάση. Η σύγχρονη βιομηχανία Ηλεκτρικής Ενέργειας έχει βασισθεί στη μετατροπή σε Ηλεκτρική Ενέργεια της θερμικής ενέργειας των ορυκτών καυσίμων και της μηχανικής ενέργειας των υδάτινων ροών και των υδατοπτώσεων, μέσω θερμικών και υδροηλεκτρικών σταθμών, αντίστοιχα.

- Το σύστημα μεταφοράς

Συνδέει όλους τους μεγάλους σταθμούς παραγωγής καθώς και διαφορετικά συστήματα μεταξύ τους και μεταφέρει μεγάλα μεγέθη ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις προς τα κέντρα κατανάλωσης. Αποτελεί τη σπονδυλική στήλη του συστήματος και λειτουργεί στα μέγιστα δυνατά επίπεδα τάσης. Περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών υπερυψηλής και υψηλής τάσης, τους υποσταθμούς ζεύξης των δικτύων αυτών και τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων επιπέδων τάσης που χρησιμοποιούνται.

- Το σύστημα ΥΠΟ μεταφοράς

Μεταφέρει ισχύ σε μικρότερα μεγέθη και αποστάσεις υπό χαμηλότερη τάση από υποσταθμούς μεταφοράς σε υποσταθμούς διανομής μικρότερων κέντρων κατανάλωσης. Σημειώνεται ότι οι μεγάλοι βιομηχανικοί καταναλωτές τροφοδοτούνται συνήθως απευθείας από το σύστημα ΥΠΟ μεταφοράς. Όσο το σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας επεκτείνεται και δημιουργείται αναγκαιότητα για μεταφορά υπό υψηλότερα επίπεδα τάσης, οι παλαιότερες γραμμές μεταφοράς μεταβαίνουν σε λειτουργία υπό χαμηλότερα επίπεδα τάσης, καθιστώντας σχετικά δύσκολη τη διάκριση μεταξύ δικτύων ΥΠΟ μεταφοράς και μεταφοράς.

- Το σύστημα διανομής

Περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας μέσης και χαμηλής τάσης, στα οποία υπάγονται και οι υποσταθμοί διανομής μέσω των οποίων η μέση υποβιβάζεται σε χαμηλή τάση. Μέσω των δικτύων διανομής η Ηλεκτρική Ενέργεια διανέμεται σε μικρότερες περιοχές στους καταναλωτές.

Τα 3 σημαντικότερα μεγέθη πάνω στα οποία βασίζεται η σχεδίαση, η επίδοση και η ασφάλεια ενός ηλεκτρικού δικτύου είναι:

- Τάση Δικτύου
- Ισχύς βραχυκύκλωσης Δικτύου
- Η στάθμη Μόνωσης του Δικτύου

## 1.3 Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα

### 1.3.1 Σύστημα Μεταφοράς

Ο όρος Σύστημα Μεταφοράς περιγράφει το Διασυνδεδεμένο Σύστημα του ηπειρωτικού τμήματος της Ελλάδας και των διασυνδεδεμένων με αυτό νησιών στα επίπεδα υψηλής (150kV και 66kV) και υπερυψηλής τάσης (400kV). Τη σπονδυλική στήλη του Διασυνδεδεμένου συστήματος αποτελούν οι τρεις γραμμές διπλού κυκλώματος των 400 kV, οι οποίες μεταφέρουν ενέργεια, κυρίως από το σπουδαιότερο ενεργειακό κέντρο παραγωγής, αυτό της Δυτικής Μακεδονίας. Στη περιοχή αυτή, παράγεται περίπου το 70% της συνολικής παραγωγής της χώρας, η οποία στη συνέχεια μεταφέρεται στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης της Κεντρικής και Νότιας Ελλάδας, όπου καταναλώνεται περίπου το 65%. Το πρόβλημα της μεγάλης γεωγραφικής ανισοκατανομής μεταξύ παραγωγής (Βορράς) και φορτίων (Νότος), που ήταν ιδιαίτερα σημαντικό κατά το παρελθόν ιδίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, έχει μετριασθεί, λόγω της ένταξης νέων μονάδων παραγωγής στο Νότιο Σύστημα, της ένταξης πυκνωτών αντιστάθμισης και της μείωσης των φορτίων. Εντούτοις, οι περιοχές της Αττικής και της Πελοποννήσου παραμένουν οι πλέον κρίσιμες περιοχές του Συστήματος από πλευράς ευστάθειας τάσης. [2]

#### Ακτινογραφία Συστήματος [3]

- Υποσταθμοί 150 kV/Μέσης Τάσης

Μέχρι το Μάρτιο του 2013 στο Σύστημα ήταν συνδεδεμένοι:

- 205 Υ/Σ υποβιβασμού 150kV/MT της ΔΕΗ ΑΕ, εκ των οποίων :
  - 186 εξυπηρετούν τις ανάγκες των πελατών του Δικτύου Διανομής. Οι υποσταθμοί αυτοί περιλαμβάνουν τμήματα η διαχείριση των οποίων είναι στην αρμοδιότητα του ΑΔΜΗΕ. Στους ανωτέρω υποσταθμούς περιλαμβάνονται 20, στους οποίους είναι επίσης συνδεδεμένοι και μετασχηματιστές ανύψωσης 16 συμβατικών σταθμών παραγωγής και 4 σταθμών ανανεώσιμων πηγών, καθώς και 14 υποσταθμοί συνδεδεμένοι στην πλευρά 150 kV των κέντρων υπερυψηλής τάσης.
  - 14 υποσταθμοί εξυπηρετούν τις ανάγκες του δικτύου στην Αττική και ανήκουν εξ ολοκλήρου στην αρμοδιότητα του ΔΕΔΔΗΕ.
  - 4 υποσταθμοί χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση των φορτίων Ορυχείων. Ανάγκες ορυχείων εξυπηρετεί και ο υποσταθμός Πτολεμαΐδας Ι, ο οποίος συμπεριλαμβάνεται στους 186 που εξυπηρετούν και ανάγκες Διανομής.
  - Ένας υποσταθμός (Αντλιοστάσιο Πολυφύτου) εξυπηρετεί ανάγκες άντλησης για τον υδροηλεκτρικό Πολυφύτου.



*Εικόνα 1.1:Υποσταθμός Μέσης Τάσης*

- 39 υποσταθμοί για την ενσωμάτωση της ισχύος μονάδων ανανεώσιμων, εκ των οποίων οι υποσταθμοί Καρύστου, Λιβαδίου και Αργυρού εξυπηρετούν παράλληλα και φορτία Διανομής (συμπεριλαμβάνονται στους προαναφερθέντες 205 υποβιβασμού).
- Υποσταθμοί ανύψωσης μέσης τάσης/150kV σε Σταθμούς Παραγωγής της ΔΕΗ ΑΕ:
  - 7 Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί
  - 15 Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί
  - 3 Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί
- Υποσταθμοί ανύψωσης σε Σταθμούς Παραγωγής ανεξάρτητων Παραγωγών. Οι μονάδες παραγωγής των συγκεκριμένων σταθμών συνδέονται στα 150 kV μέσω μετασχηματιστή ανύψωσης μέσης τάσης/150kV.
- 38 υποσταθμοί υποβιβασμού 150kV/μέσης τάσης που εξυπηρετούν τις εγκαταστάσεις Πελατών υψηλής τάσης.

Στο Σύστημα δεν περιλαμβάνονται τα ανεξάρτητα Συστήματα Μεταφοράς των νησιών (Κρήτη, Ρόδος, Λέσβος, Σάμος), η σχεδίαση και η ανάπτυξη των οποίων είναι στην αρμοδιότητα του Διαχειριστή Δικτύου.

#### • Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης

Τα κέντρα υπερυψηλής τάσης αποτελούν τα σημεία σύνδεσης των Συστημάτων 400kV και 150kV και εξυπηρετούν ανάγκες απομάστευσης ισχύος από το Σύστημα 400 kV προς το Σύστημα 150 kV. Πρόκειται για 13 κέντρα που περιλαμβάνουν ένα ή περισσότερους αυτομετασχηματιστές (ΑΜ/Σ) τριών τυλιγμάτων 400kV/150kV/30kV. Επιπλέον, υπάρχουν και άλλα 9 κέντρα που δεν συμπεριλαμβάνονται στα προαναφερθέντα 13, εγκατεστημένα κοντά σε ομώνυμους σταθμούς παραγωγής και εξυπηρετούν παράλληλα ή αποκλειστικά ανάγκες ανύψωσης τάσης από τις μονάδες παραγωγής προς το Σύστημα 400kV.





Εικόνα 1.2:Κέντρο Υπερυψηλής Τάσης

- Γραμμές Μεταφοράς

Στο Σύστημα υπάρχουν γραμμές υψηλής (66 και 150 kV) και υπερυψηλής (400 kV) τάσης διαφόρων ειδών και τύπων. Επιπλέον, είναι εγκατεστημένα υπόγεια καλώδια 150 kV για τη μεταφορά ισχύος εντός των πυκνοκατοικημένων περιοχών της Πρωτεύουσας, τα οποία ανήκουν στο Δίκτυο 150 kV. Πιο συγκεκριμένα φαίνονται τα στοιχεία στον παρακάτω πίνακα:

Είδος Γραμμής	400kV	D.C 400kV	150kV	66kV	Σύνολο
Εναέριες	2.628	107	8.127	39	10.901
Υποβρύχιες		160	140	15	315
Υπόγειες	4		82	1	87
Σύνολο	2.632	267	8.349	55	11.303

Πίνακας 1.1:Χιλιομετρικά Στοιχεία Γραμμών Μεταφοράς [3]



Εικόνα 1.3:Γραμμές Υψηλής Τάσης



- Συσκευές Αντιστάθμισης Άεργου Ισχύος

Οι ανάγκες για αντιστάθμιση άεργου ισχύος καλύπτονται με την εγκατάσταση στατών πυκνωτών και πηνίων αντισταθμιστών. Συγκεκριμένα, για την τοπική σταθεροποίηση των τάσεων των υποσταθμών 150kV/μέση τάση, χρησιμοποιούνται στατοί πυκνωτές που εγκαθίστανται κυρίως σε ζυγούς μέσης τάσης των Υποσταθμών (συνολικής ισχύος περίπου 4150 MVar). Επιπλέον, έχουν εγκατασταθεί συστοιχίες πυκνωτών 150kV, συνολικής ισχύος 450 MVar, σε υποσταθμούς και κέντρα υπερυψηλής τάσης του Συστήματος. Ακόμα, έχουν εγκατασταθεί πηνία στην πλευρά των 150kV σε Υποσταθμούς 150kV/MT (σε εκείνους όπου συνδέονται υποβρύχια καλώδια), για την αντιμετώπιση προβλημάτων εμφάνισης υψηλών τάσεων κατά τις ώρες χαμηλού φορτίου.

#### Διεθνείς Διασυνδέσεις

Από τον Οκτώβριο του 2004 το Ελληνικό Σύστημα λειτουργεί σύγχρονα και παράλληλα με το διασυνδεδεμένο Ευρωπαϊκό Σύστημα υπό το γενικότερο συντονισμό του ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity), ο οποίος αποτελεί διάδοχο και ευρύτερο σχήμα της UCTE (Union pour la Coordination du Transport de l' Electricité). Η παράλληλη λειτουργία του Ελληνικού Συστήματος με το Ευρωπαϊκό επιτυγχάνεται μέσω διασυνδετικών γραμμών μεταφοράς, κυρίως 400 kV, με τα Συστήματα της Αλβανίας, της Βουλγαρίας και της ΠΓΔΜ (FYROM). Επιπλέον, το Ελληνικό Σύστημα συνδέεται ασύγχρονα (μέσω υποβρύχιας σύνδεσης συνεχούς ρεύματος) με την Ιταλία. Από την 18 Σεπτεμβρίου 2010, το Ελληνικό Σύστημα έχει συνδεθεί και με το Σύστημα της Τουρκίας, το οποίο με τη σειρά του έχει συνδεθεί με το Σύστημα της Βουλγαρίας. Το Σύστημα της Τουρκίας είναι έκτοτε σε δοκιμαστική παράλληλη λειτουργία με το Ευρωπαϊκό. Οι δοκιμές εκτελούνται υπό την αιγίδα του ENTSO-E.[3]



**Εικόνα 1.4: Σχηματικό διάγραμμα των διασυνδεδεμένων Συστημάτων της Βαλκανικής [3]**

Αναλυτικότερα έχουμε τα εξής στοιχεία:

- **Ελλάδα-ΠΓΔΜ**
  - ο Μιας γραμμής μεταφοράς 400 kV απλού κυκλώματος με δίδυμο αγωγό, μεταξύ κέντρων υπερυψηλής τάσης Θεσσαλονίκης και Dubrono στην ΠΓΔΜ
  - ο Μιας γραμμής μεταφοράς 400 kV απλού κυκλώματος με δίδυμο αγωγό, μεταξύ κέντρων υπερυψηλής τάσης Μελίτης και Bitola στην ΠΓΔΜ.
- **Ελλάδα-Αλβανία**
  - ο Μιας γραμμής μεταφοράς 400 kV απλού κυκλώματος με δίδυμο αγωγό, μεταξύ κέντρων υπερυψηλής τάσης Καρδιάς και Zemblak (Αλβανία).
  - ο Μιας γραμμής μεταφοράς 150 kV ελαφρού τύπου μεταξύ του υποσταθμού Μούρτου και του υδροηλεκτρικού σταθμού Bistrica στην Αλβανία, ονομαστικής ικανότητας μεταφοράς 100 MW περίπου
- **Ελλάδα-Βουλγαρία**
  - ο Με το Βουλγαρικό Σύστημα η Ελλάδα συνδέεται μέσω γραμμών μεταφοράς 400 kV (αναρτημένη σε πυλώνες τύπου Β'Β', δηλαδή πυλώνες απλού κυκλώματος υπερβαρέως τύπου, με δίδυμους αγωγούς ανά φάση, διατομής 936 κυκλικών χιλιοστών), μεταξύ κέντρων υπερυψηλής τάσης Θεσσαλονίκης και Blagoevgrad στην Βουλγαρία.
- **Ελλάδα-Ιταλία**

Η διασύνδεση αυτή συνδέει το κέντρο υπερυψηλής τάσης Αράχθου με τον υποσταθμό Galatina στην Ιταλία. Είναι σύνδεση συνεχούς ρεύματος και περιλαμβάνει:

  - ο Σταθμούς μετατροπής υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος (HVDC) 400 kV ικανότητας 500 MW.
  - ο Τμήματα εναερίων γραμμών μεταφοράς DC μήκους 45 km επί Ιταλικού εδάφους και 107 km επί ελληνικού εδάφους.
  - ο Τμήμα υπογείου καλωδίου DC μήκους 4 km επί Ιταλικού εδάφους.
  - ο Ένα υποβρύχιο καλώδιο DC 400 kV ισχύος 500 MW και μήκους 160 km.
- **Ελλάδα-Τουρκία**
  - ο Από το καλοκαίρι του 2008 έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή της γραμμής μεταφοράς 400 kV κέντρο υπερυψηλής Φιλίππων – Ν. Σάντας – Babaeski (Τουρκία). Η γραμμή αυτή είναι διπλού κυκλώματος ( αναρτημένη σε πυλώνες τύπου 2Β'Β', δηλαδή πυλώνες διπλού κυκλώματος υπερβαρέως τύπου, με δίδυμους αγωγούς ανά φάση, διατομής 936 κυκλικών χιλιοστών) στο τμήμα Φιλίππων – Ν. Σάντα και απλού κυκλώματος (αναρτημένη σε πυλώνες τύπου Β'Β'Β'', δηλαδή απλού κυκλώματος υπερβαρέως τύπου, με τρίδυμους αγωγούς ανά φάση, διατομής 936 κυκλικών χιλιοστών) στο τμήμα Ν. Σάντα - Babaeski. Στις 18 Σεπτεμβρίου 2010 πραγματοποιήθηκε η έναρξη δοκιμαστικής σύγχρονης και παράλληλης λειτουργίας του Συστήματος της Τουρκίας με το σύγχρονο Ευρωπαϊκό διασυνδεδεμένο Σύστημα μέσω της προαναφερθείσας γραμμής (Ν. Σάντα – Babaeski), καθώς και με δύο υφιστάμενες γραμμές 400 kV από τη Βουλγαρία. Έκτοτε η διασύνδεση του Συστήματος της Τουρκίας με το Ευρωπαϊκό Σύστημα παραμένει σε δοκιμαστική λειτουργία, με σκοπό να επιβεβαιωθεί ότι η λειτουργία του Συστήματος της

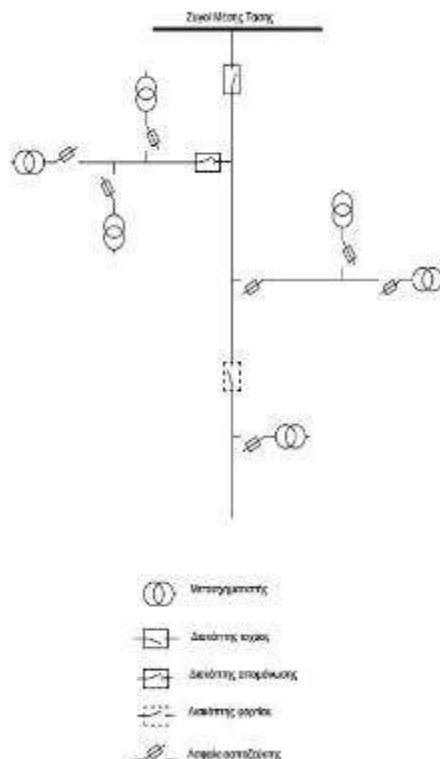
Τουρκίας δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στη λειτουργία, τόσο των Συστημάτων των γειτονικών χωρών, όσο και του Ευρωπαϊκού διασυνδεδεμένου Συστήματος γενικότερα.

### 1.3.2 Δίκτυο Διανομής

Το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει το δίκτυο μέσης και χαμηλής τάσης από τα κέντρα υπερυψηλής μέχρι τον τελικό καταναλωτή. Το δίκτυο περιλαμβάνει τους υποσταθμούς μέσης τάσης των 20 kV/0,4 kV, τις εναέριες γραμμές, τα καλώδια μέσης και χαμηλής τάσης και το σχετικό εξοπλισμό προστασίας και ελέγχου. Στο δίκτυο συνδέονται οι καταναλωτές μέσης τάσης (στα 20 kV) και οι καταναλωτές χαμηλής (400V-230V). Γενικά, τα συστήματα διανομής της μέσης τάσης διακρίνονται στις εξής δύο βασικές κατηγορίες, με κριτήριο διαχωρισμού τη δομή τους ή τον τρόπο αξιοποίησής τους:

#### 1. Ακτινικό Δίκτυο Διανομής(Radial Main Distribution System)

Το σύστημα αυτό εφαρμόζεται συνήθως σε εναέρια δίκτυα που τροφοδοτούν περιοχές και φορτία που δεν απαιτούν υψηλό βαθμό αξιοπιστίας. Το σύστημα αποτελείται από μία κεντρική γραμμή, τον κορμό, με τις διακλαδώσεις του. Ο κορμός ελέγχεται από ένα διακόπτη ισχύος που εκτελεί αυτόματες επαναφορές. Οι διακλαδώσεις ελέγχονται από ασφαλειοαποζεύκτες και από διακόπτες απομόνωσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις τοποθετούνται στον κορμό διακόπτες αυτόματης επαναφοράς, προκειμένου να εξυπηρετηθούν λειτουργικές ανάγκες του δικτύου ή να ελεγχθούν τα σφάλματα σε περιπτώσεις δικτύων με μεγάλα μήκη.

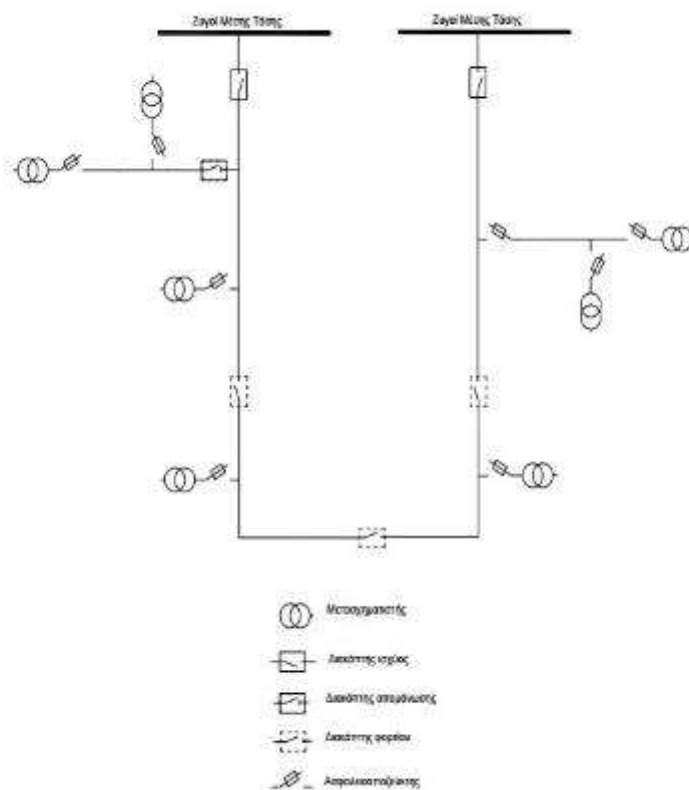


Εικόνα 1.5:Μορφή Ακτινικού Δικτύου

## 2. Βροχοειδές Δίκτυο Διανομής (Ring Main Distribution System)

### Εναέρια Δίκτυα

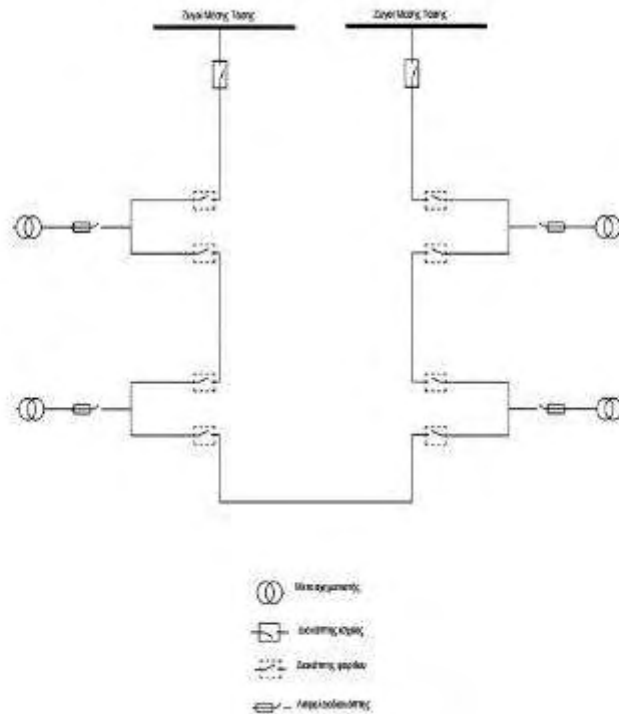
Το σύστημα αυτό είναι όμοιο με το ακτινικό με τη διαφορά ότι τροφοδοτείται από δύο σημεία του ίδιου ή διαφορετικού υποσταθμού. Η κεντρική γραμμή διαχωρίζεται από διακόπτη φορτίου ή τριπολικό αποζεύκτη.



Εικόνα 1.6: Μορφή βροχοειδούς εναέριου δικτύου.

### Υπόγεια Δίκτυα

Σε αυτό το σύστημα, ο βρόχος τροφοδοτείται από δύο διακόπτες που ανήκουν στον ίδιο ή σε διαφορετικούς υποσταθμούς. Σε κάθε υποσταθμό διανομής υπάρχουν δύο διακόπτες φορτίου για τις αφίξεις των καλωδίων. Ο βρόχος παραμένει λειτουργικά ανοικτός σε ένα διακόπτη φορτίου των υποσταθμών διανομής. Για να αξιοποιηθεί ο βρόχος, κάθε αναχώρηση, πρέπει στην κανονική λειτουργία να φορτίζεται μέχρι το 50% της ικανότητάς της.



Εικόνα 1.7: Μορφή βροχοειδούς υπόγειου δικτύου.

Τα ποσοτικά μεγέθη του ελληνικού ΔΔ στο τέλος του 2013 είναι τα εξής :

- 109.700 χλμ. Δίκτυο μέσης τάσης (MT).
- 123.300 χλμ. Δίκτυο χαμηλής τάσης(ΧΤ).

Συνολικά 233.000 χλμ. Δικτύου.

- 160.000 υποσταθμοί μέσης τάσης προς χαμηλής τάσης (Υ/Σ MT/ΧΤ).
- 7.392.722 Πελάτες (10.147 MT & 7.493.118 ΧΤ). [4]

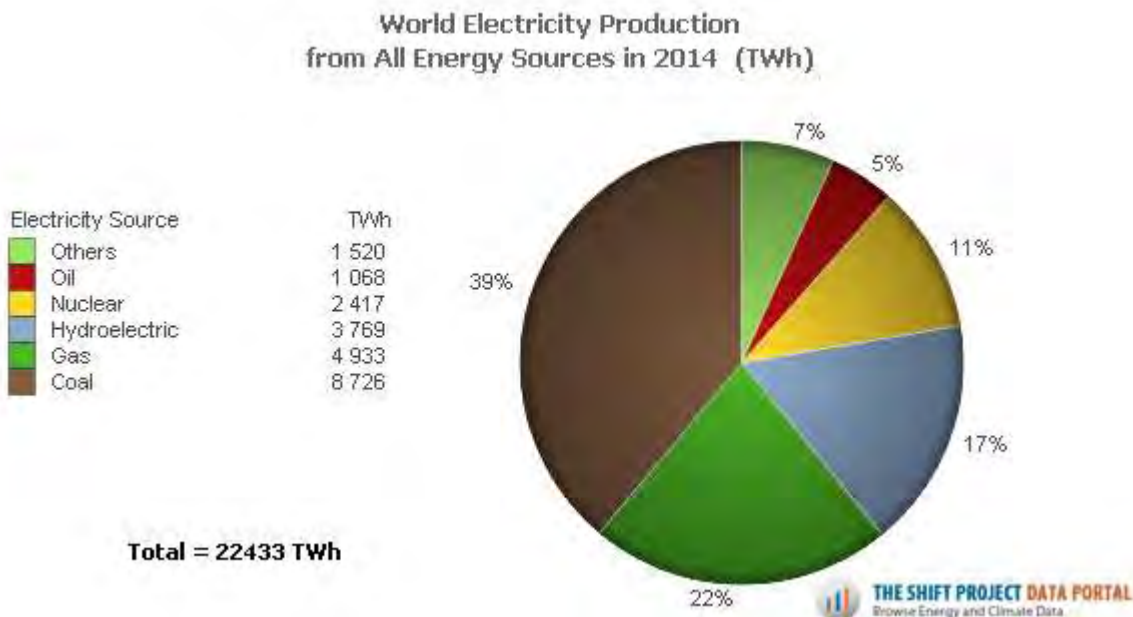
## 1.4 Ηλεκτροπαραγωγή

### 1.4.1 Εισαγωγή

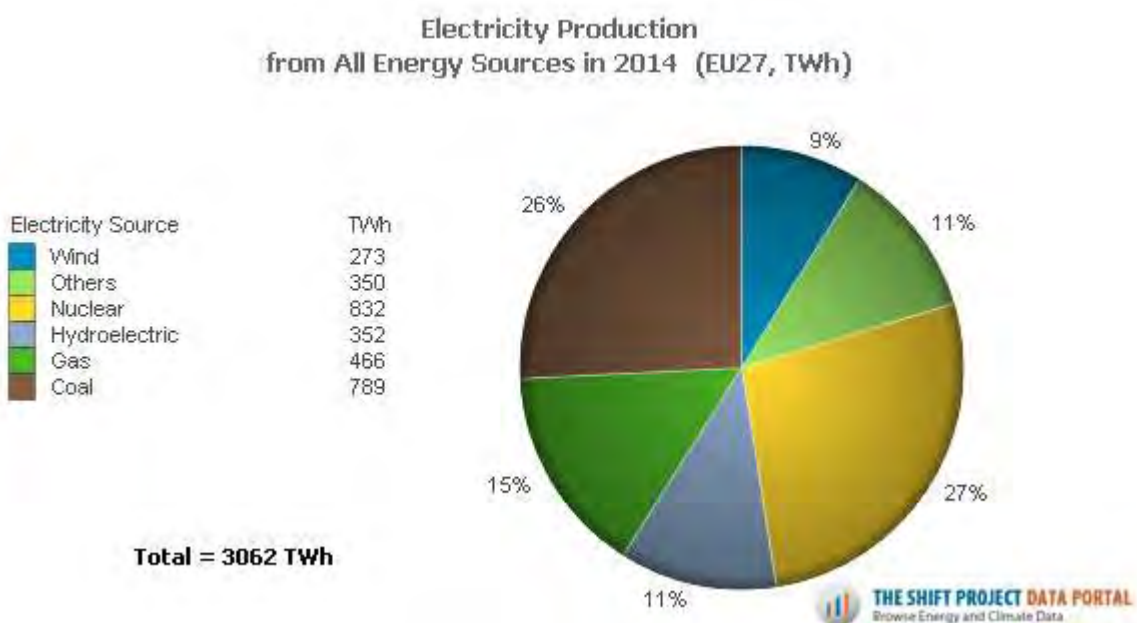
Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με την εκμετάλλευση διαφόρων πρωτογενών πηγών ενέργειας και παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τους διαθέσιμους εγχώριους Ενεργειακούς Πόρους, την Ενεργειακή Πολιτική της χώρας, τις γεωλογικές, γεωφυσικές και κλιματολογικές ιδιαιτερότητες αυτής. Οι πηγές παραγωγής ενέργειας διακρίνονται στις συμβατικές που βασίζονται σε ορυκτά στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα, όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας (λιθάνθρακας και λιγνίτης), το φυσικό αέριο, στην πυρηνική ενέργεια και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) που χρησιμοποιούν ανεξάντλητες πηγές (άνεμος, ήλιος, νερό κλπ.) και δεν καταναλώνουν τα περιορισμένα ενεργειακά ορυκτά αποθέματα. [5]

Το ποσοστό συμμετοχής του πετρελαίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλό, όπως είναι φυσικό, σε κάποιες αραβικές πετρελαιοπαραγωγικές χώρες (όπως σχεδόν 100% στην Υεμένη), αλλά γενικότερα στις άλλες χώρες το ποσοστό του πετρελαίου στην ηλεκτροπαραγωγή έχει περιοριστεί σημαντικά. Υψηλό ποσοστό συμμετοχής του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζουν μεταξύ άλλων χωρών η Ολλανδία (60%) και η Ιρλανδία (50%). [6]

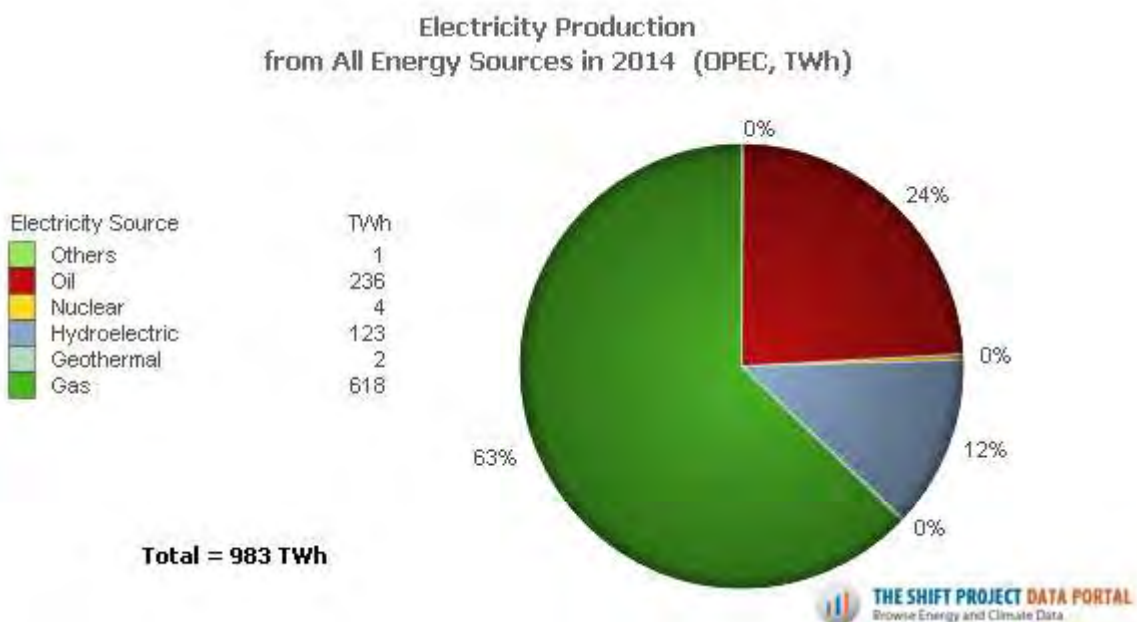
Ακολουθούν ενδεικτικά κάποια γραφήματα:



Εικόνα 1.8: Παγκόσμια Παραγωγή ενέργειας (πηγές) (2014) [6]



*Εικόνα 1.9: Ευρωπαϊκή Παραγωγή Ενέργειας (πηγές)(2014) [6]*



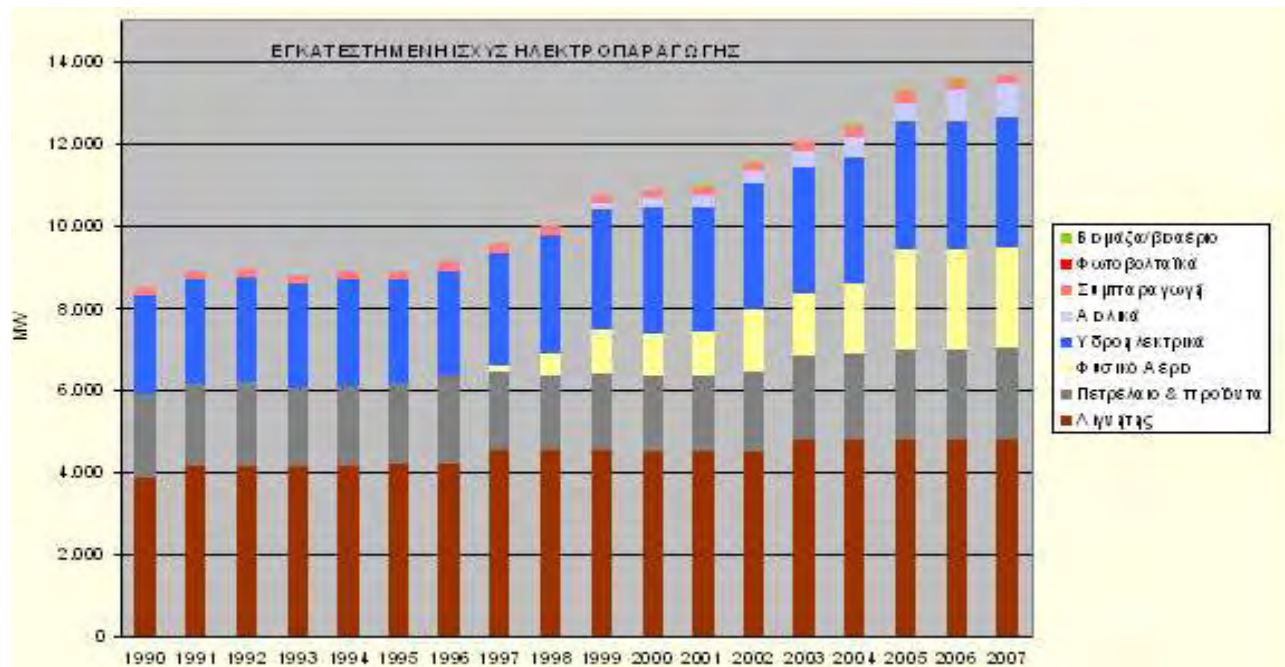
*Εικόνα 1.10: Παραγωγή Ενέργειας σε χώρες του ΟΠΕΚ (πηγές) (2014) [6]*



### 1.4.2 Ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα

Παρατηρώντας το γράφημα της εξέλιξης της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος στην Ελλάδα για το χρονικό διάστημα από το 1990 μέχρι και το 2007, διαπιστώνουμε τα εξής: [7]

- Το μεγαλύτερο ποσοστό της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος είναι βασισμένο στον λιγνίτη, διότι είναι εγχώριο προϊόν και βρίσκεται σε αφθονία σε πολλά κοιτάσματα στην ηπειρωτική Ελλάδα.
- Το σταθερό, σχετικά μεγάλο ποσοστό της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος που βασίζεται στο πετρέλαιο και τα προϊόντα του, και αυτό κύρια λόγω του μεγάλου πλήθους των ελληνικών νησιών και των δυσκολιών διασύνδεσης τους.
- Το σταθερό ποσοστό υδροηλεκτρικών εγκατεστημένων μονάδων, οι οποίες για την κατασκευή τους απαιτούν τεράστιες περιβαλλοντικές παρεμβάσεις για δημιουργία φραγμάτων και υδατικών ταμιευτήρων.
- Την πρώτη εμφάνιση και τη σταδιακή αύξηση των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Φυσικού Αερίου μετά την κατασκευή του αγωγού μεταφοράς του φυσικού αερίου στη χώρα μας
- Τη μικρή αλλά συνεχή αύξηση των εγκατεστημένων μονάδων αιολικής ενέργειας και τη σηματοδότηση της νέας εποχής για τη διείσδυση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή.

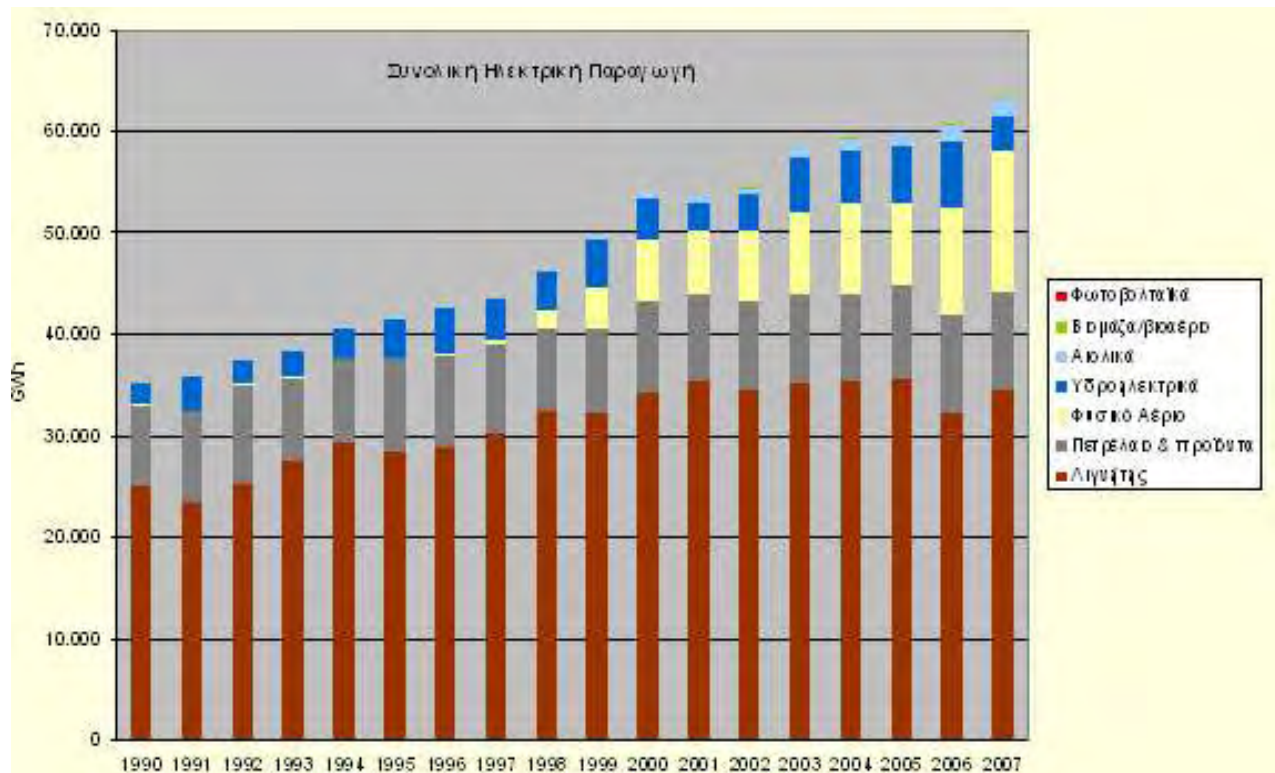


Εικόνα 1.11: Η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος στην Ελλάδα από το 1990 έως το 2007 [7]



Παρατηρώντας το γράφημα της εξέλιξης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για το χρονικό διάστημα από το 1990 μέχρι και το 2007, διαπιστώνουμε τα εξής σημαντικά:

- Την αυξανόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την πάροδο του χρόνου, η οποία απεικονίζει την οικονομική ανάπτυξη της εποχής αυτής και την αντανάκλασή της στην αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας
- Το μεγάλο μερίδιο της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη αλλά και την ετήσια ποσοστιαία μείωση ως προς την ετήσια συνολική παραγωγή
- Την ετήσια παραγόμενη από πετρέλαιο Η/Ε, τη διατήρησή της σαν ποσότητα με την πάροδο του χρόνου και τη μείωσή της ως ποσοστού επί της ετήσιας παραγωγής με την πάροδο του χρόνου
- Την είσοδο του φυσικού αερίου στο μείγμα της παραγόμενης Η/Ε στην Ελλάδα και την ετήσια σταδιακή αύξηση της παραγόμενης από αυτό Η/Ε λόγω της εγκατάστασης νέων Σταθμών Παραγωγής τεχνολογίας φυσικού αερίου
- Την παραγόμενη από υδροηλεκτρικούς σταθμούς Η/Ε, με την διευκρίνιση ότι οι εμφανείς αυξομειώσεις απεικονίζουν τις ετήσιες βροχοπτώσεις των περιοχών εγκατάστασης των σταθμών
- Την βαθμιαία αύξηση της παραγόμενης από Ανανεώσιμες Πηγές Η/Ε τα τελευταία χρόνια και την διεξόδυση των ΑΠΕ στην Ηλεκτροπαραγωγή



*Εικόνα 1.12: Η εξέλιξη της συνολικής ηλεκτρικής παραγωγής στην Ελλάδα από το 1990 έως το 2007 [7]*

Στο μη Διασυνδεδεμένο Σύστημα, τον Ιούλιο του 2013 η εγκατεστημένη ισχύς έφθασε στα 2229MW, 80% της οποίας είναι η συνολική ισχύς των θερμικών μονάδων (1783 MW), ενώ η συνολική ισχύς που παράγεται από ΑΠΕ είναι 446 MW (20%). Από την τελευταία κατηγορία, τα 289.6 MW (13%) είναι αιολικοί σταθμοί, τα 156.1 MW (7%) είναι μονάδες φωτοβολταϊκών, ενώ οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί συνεισφέρουν ισχύ 0.3 MW [8]

Σύμφωνα με τα μηνιαία δελτία ενέργειας του ΑΔΜΗΕ, η συνολική καθαρή εγχώρια παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα ανήλθε για το έτος 2012 σε 48.77 TWh. Η κυριότερη πηγή καυσίμου ήταν ο εγχώριος λιγνίτης που κάλυψε το 57% του συνόλου των αναγκών. Ακολουθεί το φυσικό αέριο προερχόμενο από εισαγωγές από τη Ρωσία (Gazprom- Export), την Τουρκία (Botas) και σε μορφή LNG από την Αλγερία (Sonatrach) με ποσοστό 29%. Η υδροηλεκτρική παραγωγή συμμετείχε με 8%. Τα φωτοβολταϊκά, η αιολική ενέργεια και η βιομάζα συμμετείχαν με 6%. Τέλος, το πετρέλαιο συνεισέφερε με ποσοστό 0.16%. Ακολουθεί το διάγραμμα της καθαρής παραγωγής του Διασυνδεδεμένου Συστήματος για το διάστημα 2004 έως και 2012: [9]



Εικόνα 1.13:Ανάλυση καθαρής ηλεκτροπαραγωγής του Διασυνδεδεμένου Συστήματος για την περίοδο 2004-2012 [10]

Ένα μέρος των ενεργειακών αναγκών της χώρας για το 2012 καλύφθηκε από τις εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των Διεθνών Διασυνδέσεων. Το ενεργειακό ισοζύγιο το 2012 ανήλθε σε 1.78 TWh (3.5% επί της συνολικής εγχεόμενης στο σύστημα ΗΕ) με τις εισαγωγές να αγγίζουν τις 5.95 TWh και τις εξαγωγές τις 4.17 TWh.



Εικόνα 1.14:Εισαγωγές Ηλεκτρικής Ενέργειας(2004-2012) [10]



Εικόνα 1.15:Εξαγωγές Ηλεκτρικής Ενέργειας(2004-2012) [10]

Στο μη Διασυνδεδεμένο Σύστημα για το έτος 2012 η συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανήλθε σε 5.59 TWh. Οι μονάδες παραγωγής με καύσιμο το πετρέλαιο είχαν την κυρίαρχη συνεισφορά με ποσοστό 84%. Το υπόλοιπο 16% της παραγωγής καλύφθηκε από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Αιολικά 12.4% , Φωτοβολταϊκά 3.4% και Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί 0.2%) [8]

## 1.5 Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

### 1.5.1 Εισαγωγή

Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν και διαμορφώνουν σήμερα την ενεργειακή πολιτική και τη ρύθμιση της ενεργειακής αγοράς. Πρώτον, η αύξηση του πληθυσμού της γης καθώς και η συνεχής ανάπτυξη προκαλούν αύξηση της ενεργειακής ζήτησης, η οποία με τη σειρά της προκαλεί αύξηση των τιμών της ενέργειας (το 2035 υπολογίζεται ότι το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση θα είναι κατά 50% υψηλότερο από το αντίστοιχο στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και 3 φορές υψηλότερο συγκριτικά με εκείνο της Κίνας). Επιπλέον, προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες των πολιτών της σε ενέργεια, η Ευρωπαϊκή Ένωση αναγκάζεται να εισάγει ορυκτά καύσιμα. Η εξάρτησή της αυτή σε ορυκτά καύσιμα (50% σήμερα, 65% το 2030) θέτει σε κίνδυνο την ασφάλεια εφοδιασμού, ενώ η υπερκατανάλωση ορυκτών καυσίμων συνδέεται με τις εκπομπές αερίων ρύπων που προκαλούν το φαινόμενο της αλλαγής θερμοκρασίας του πλανήτη. Υπό μια ευρύτερη σκοπιά, η έκρηξη ανάπτυξης από την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ και η δυσπιστία ως προς την εκμετάλλευση της πυρηνικής ενέργειας μετά το ατύχημα της Φουκουσίμα του 2011 αποτελούν σημαντικές παραμέτρους στη διαδικασία λήψης των ενεργειακών αποφάσεων στην Ευρώπη. Τέλος, αξίζει να επισημανθεί ότι η αναγκαιότητα για εξεύρεση νέων μοχλών ανάπτυξης και βελτίωσης της οικονομίας, όπως επίσης και μιας διόδου που θα οδηγήσει στην έξοδο από την κρίση συγκεντρώνει την απαραίτητη προσοχή και λαμβάνεται εξίσου υπόψη από τους Ευρωπαϊκούς φορείς.

Οι υψηλές τιμές ενέργειας, η εξάρτηση της Ευρώπης από τα ορυκτά καύσιμα, η υψηλή ενεργειακή ζήτηση και η ανάγκη για μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων οδήγησαν την Ευρωπαϊκή Ένωση στη λήψη καινοτόμων μέτρων προς μια βιώσιμη ανάπτυξη, μέσω της υιοθέτησης μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας και της προώθησης νέων τεχνολογιών που παράγουν καθαρή ενέργεια στο πλαίσιο μιας απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας, όπου θα εφαρμοστεί αποτελεσματικός ανταγωνισμός μεταξύ των νεοεισερχόμενων εταιρειών. Στο άμεσο μέλλον, οι εθνικές αγορές ενέργειας των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα ενοποιηθούν σχηματίζοντας μια ενιαία εσωτερική αγορά. Σε αυτό το πλαίσιο, απαιτείται ιδιαίτερα προσεκτική ανάλυση όσον αφορά στην εξεύρεση ορθολογικών τρόπων διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις εθνικές αγορές και κατά συνέπεια στην «ενιαία» ευρωπαϊκή αγορά ενέργειας.

Μέσα στο πλαίσιο της απελευθέρωσης της εσωτερικής αγοράς ενέργειας, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως στόχο την πλήρη ενοποίηση των εθνικών αγορών ενέργειας παράλληλα την ενίσχυση του ανταγωνισμού και της ασφάλειας εφοδιασμού, προκαλώντας ανταγωνιστικές τιμές ενέργειας καθώς και περισσότερες επιλογές για τους καταναλωτές, πιο ευνοϊκό κλίμα για τις επενδύσεις και κίνητρα για έρευνα και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και υποδομών.

Όλες αυτές οι προκλήσεις απαιτούν όμως ένα κατανοητό, ευσύνοπτο νομικό πλαίσιο, το οποίο να οριοθετεί με σαφήνεια τις ρυθμίσεις που αφορούν σε κάθε τομέα της αγοράς ενέργειας, καθώς και το

ρόλο όλων των ενεργειακών παικτών, όπως των ενεργειακών παραγωγών, των διαχειριστών συστημάτων και δικτύων, των προμηθευτών, των εμπόρων αλλά και των καταναλωτών.

Η διαδικασία δημιουργίας ανταγωνιστικών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου στην Ευρώπη ξεκίνησε το 1992, όταν η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε επισήμως το πρώτο πακέτο Οδηγιών ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου. Πριν από αυτή την πρωτοβουλία, οι επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας αποτελούσαν κρατικά μονοπώλια με το δικαίωμα να προμηθεύουν κατ' αποκλειστικότητα τους τελικούς καταναλωτές με ενέργεια. Η Επιτροπή άρχισε να αμφισβητεί τα αποκλειστικά αυτά δικαιώματα λόγω του ότι έθεταν μεγάλα εμπόδια στη δημιουργία μιας κοινής αγοράς. Σε αυτή την αρχική φάση, η Επιτροπή βασίστηκε στα άρθρα της Συνθήκης της Ρώμης που αφορούν στο Δίκαιο του Ανταγωνισμού, προκειμένου να αναγκάσει τα κράτη μέλη να εγκαταλείψουν την μονοπωλιακή δομή και να ανοίξουν την αγορά στο ανταγωνισμό.

Βεβαίως, το «άνοιγμα» της αγοράς στον ελεύθερο ανταγωνισμό δεν μπορεί να γίνει χωρίς περιορισμούς λαμβάνοντας υπόψη την ιδιαίτερη φύση της προμήθειας ενεργειακών προϊόντων, όπως επίσης και το γεγονός ότι κάθε επιμέρους κλάδος της αγοράς ενέργειας λειτουργεί υπό διαφορετικές συνθήκες. Η προμήθεια ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου πρέπει να είναι συνεχής και συνδέεται άρρηκτα με τα δίκτυα υποδομών. Η κατασκευή και λειτουργία του δικτύου είναι είτε φυσικό μονοπώλιο είτε - αν νομικά είναι δυνατό - πραγματοποιείται διαχωρισμός του δικτύου ή κατασκευάζονται παράλληλες υποδομές, πράγμα που δεν συνιστά, ωστόσο μια βιώσιμη και εφικτή, με οικονομικούς όρους, λύση. Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη ότι στο παρελθόν σε όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης η προμήθεια ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου πραγματοποιούνταν από καθετοποιημένες επιχειρήσεις, οι οποίες αναλάμβαναν τόσο τις δραστηριότητες της παραγωγής και της προμήθειας όσο και της μεταφοράς και της διανομής, γίνεται φανερό ότι η δημιουργία συνθηκών ελεύθερου ανταγωνισμού στην αγορά κάθε άλλο παρά εύκολο εγχείρημα συνιστά.

Στην αγορά ΗΕ συμμετέχουν: ο παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας, ο έμπορος, ο προμηθευτής, ο καταναλωτής, καθώς και φορείς, όπως ο διαχειριστής του συστήματος, διανομής και ο ρυθμιστής της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Ακολουθώντας τις διεθνείς τάσεις και τις ευρωπαϊκές οδηγίες που αφορούν την αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας, το μονοπωλιακό καθεστώς της Ελληνικής αγοράς μετατρέπεται σταδιακά σε μια απελευθερωμένη αγορά. Το σημερινό νομικό πλαίσιο απελευθέρωσης της αγοράς στην Ελλάδα βασίζεται κυρίως στο νόμο 2773/99, ο οποίος θεσμοθετήθηκε με βάση την Ευρωπαϊκή Οδηγία 96/92/ΕΚ και αποτελεί τη βάση για τη λειτουργία της απελευθερωμένης ελληνικής αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας. Το νομικό αυτό πλαίσιο αναφέρεται σε τέσσερις κώδικες, οι οποίοι καθορίζουν :

- τους κανόνες που διέπουν τις συναλλαγές που πραγματοποιούνται στο πλαίσιο της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- τη διαδικασία προμήθειας των επιλεγέντων πελατών από τους προμηθευτές
- τους τεχνικούς κανόνες που ακολουθούνται κατά τη λειτουργία του συστήματος μεταφοράς και διανομής
- τα θέματα που σχετίζονται με την ευρύτερη ενεργειακή πολιτική της χώρας με επίκεντρο τα ζητήματα που προκύπτουν από την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας.

## 1.5.2 «Παίκτες» της αγοράς

### Ανεξάρτητες αρχές και εταιρίες

#### 1. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ)

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.) είναι η ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή, η οποία συστήθηκε με το ν.2773/1999, στο πλαίσιο εναρμόνισης με τις Οδηγίες 2003/54/ΕΚ και 2003/55/ΕΚ για τον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο, με κύρια αρμοδιότητά της να εποπτεύει την εγχώρια αγορά ενέργειας, σε όλους τους τομείς της, εισηγούμενη προς τους αρμόδιους φορείς της Πολιτείας και λαμβάνοντας η ίδια μέτρα για την επίτευξη του στόχου της απελευθέρωσης των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Η ρυθμιστική αρχή έχει έδρα την Αθήνα και όντας ανεξάρτητη υπόκειται μόνο σε κοινοβουλευτικό και δικαστικό έλεγχο. [11]

Παρακάτω ακολουθούν συγκεντρωτικά οι κυριότερες αποφασιστικού χαρακτήρα αρμοδιότητές της ΡΑΕ βάσει του ν.4001/2011 καθώς εκτενέστερη περιγραφή των αρμοδιοτήτων της θα γίνει στα πλαίσια του κεφαλαίου που αφορά αποκλειστικά τη ρύθμιση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας :

- Παρακολούθηση και εποπτεία της αγοράς ενέργειας
- Προστασία των καταναλωτών
- Παρακολούθηση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας
- Χορήγηση/Ανάκληση αδειών Ηλεκτρικής Ενέργειας (Παραγωγής, Προμήθειας, Εμπορίας, Απευθείας γραμμών)
- Εποπτεία επί του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς
- Έγκριση τιμολογίων μη ανταγωνιστικών δραστηριοτήτων
- Παρακολούθηση πρόσβασης στις ενεργειακές διασυνδέσεις
- Λήψη ρυθμιστικών μέτρων για την εύρυθμη λειτουργία των ενεργειακών αγορών

#### 2. Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ)

Ο ΑΔΜΗΕ έχει συσταθεί σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης με σκοπό να αναλάβει τα καθήκοντα του Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς ΗΕ (ΕΣΜΗΕ). Οι βασικές αρμοδιότητες του είναι: [2]

- Η λειτουργία, η συντήρηση και η ανάπτυξη του ΕΣΜΗΕ ώστε να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια με τρόπο ασφαλή, αποδοτικό και αξιόπιστο.
- Και η διατύπωση της ημερήσιας πρόβλεψης φορτίου που χρησιμοποιείται επισήμως από τον ΛΑΓΗΕ για την κατάστρωση του ημερησίου ενεργειακού προγραμματισμού.



### 3. Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ)

Ο ΔΕΔΔΗΕ προέκυψε από την απόσχιση του κλάδου Διανομής της ΔΕΗ σύμφωνα με το Ν. 4001/2011 σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την οργάνωση των αγορών ΗΕ και έχει αναλάβει τα καθήκοντα του Διαχειριστή του Ελληνικού ΔΔ. Είναι κατά 100% θυγατρική εταιρεία της ΔΕΗ, ωστόσο είναι ανεξάρτητη λειτουργικά και διοικητικά, τηρώντας όλες τις απαιτήσεις ανεξαρτησίας που ενσωματώνονται στο ανωτέρω νομικό πλαίσιο. Αντικείμενο του ΔΕΔΔΗΕ είναι: [4]

- Η λειτουργία, η συντήρηση και η ανάπτυξη του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα
- Η διασφάλιση της διαφανούς και ισότιμης πρόσβασης των καταναλωτών στο δίκτυο.

### 4. Λειτουργός της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΛΑΓΗΕ)

Ο ΛΑΓΗΕ αποτελεί το ελληνικό χρηματιστήριο αγοράς ΗΕ. Εφαρμόζει τις διατάξεις του νόμου 4001/2011 που αφορούν την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και είναι αρμόδια για τη λειτουργία των δύο διακριτών αγορών:

- Της βραχυχρόνιας - χονδρεμπορικής αγοράς ΗΕ και επικουρικών υπηρεσιών, η οποία ρυθμίζεται μέσω του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (Energy and Ancillary Services Market)
- Της μακροχρόνιας αγοράς διαθεσιμότητας ισχύος (Capacity Market)

Ασκεί τις δραστηριότητες που ανήκαν στο Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς ΗΕ (ΔΕΣΜΗΕ), εκτός από αυτές που μεταφέρθηκαν στον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς ΗΕ (ΑΔΜΗΕ). [12]

## 1.5.3 Βραχυχρόνια – χονδρεμπορική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

### Ημερήσιος ενεργειακός προγραμματισμός (ΗΕΠ) – Day Ahead Schedule (DAS)

Ο ημερήσιος ενεργειακός προγραμματισμός αποτελεί τη βάση της χονδρεμπορικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελεί το πεδίο όπου γίνεται η συναλλαγή του συνόλου της ενέργειας και των συμπληρωματικών προϊόντων αυτής, που θα παραχθούν, θα διακινηθούν και καταναλωθούν την επόμενη μέρα. Σκοπός του ΗΕΠ είναι η ελαχιστοποίηση της συνολικής δαπάνης για την εξυπηρέτηση του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας σε ημερήσια βάση υπό την προϋπόθεση ενεργειακά αποδοτικής και ασφαλούς λειτουργίας του Συστήματος και διασφάλισης επαρκούς εφεδρείας. Αποσκοπεί στο βέλτιστο προγραμματισμό της λειτουργίας των θερμικών και υδροηλεκτρικών μονάδων παραγωγής, των μονάδων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της διαθέσιμης ηλεκτρικής ενέργειας από εισαγωγές, προκειμένου να καλύπτεται, σε ημερήσια βάση, η ζήτηση από καταναλωτές, η ζήτηση για εξαγωγές από τη χώρα και οι απαραίτητες επικουρικές υπηρεσίες. Κάθε μονάδα παραγωγής είναι υποχρεωμένη να προσφέρει το σύνολο της διαθεσιμότητάς της, τόσο σε ενέργεια όσο και σε επικουρικές υπηρεσίες στη χονδρεμπορική αγορά (ΗΕΠ). Πρόκειται, συνεπώς, για ένα μοντέλο αγοράς «Υποχρεωτικής Κοινοπραξίας» (Mandatory Power Pool).

Ο ΗΕΠ προσδιορίζει τον τρόπο λειτουργίας κάθε μονάδας για κάθε ώρα της επόμενης ημέρας, με στόχο να μεγιστοποιείται το κοινωνικό όφελος που προκύπτει από την ικανοποίηση του ενεργειακού ισοζυγίου και των αναγκών επικουρικών υπηρεσιών την επόμενη ημέρα, λαμβάνοντας υπόψη περιορισμούς του συστήματος μεταφοράς. Ο ΗΕΠ διαμορφώνει τις εξής 3 αγορές-μηχανισμούς: [13]

- Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

Καλύπτονται οι ποσοτικές ανάγκες των καταναλωτών σε ηλεκτρική ενέργεια για κάθε Ημέρα Κατανομής. Συγκεκριμένα, στην αγορά αυτή:

- Προσφέρουν ενέργεια οι εγχώριοι παραγωγοί (θερμικών μονάδων, υδροηλεκτρικών και ΑΠΕ) και οι εισαγωγείς και αποζημιώνονται για τις υπηρεσίες τους.
- Αγοράζουν ηλεκτρική ενέργεια οι προμηθευτές, οι επιλεγέντες πελάτες και οι εξαγωγείς (προμηθευτές και παραγωγοί).

- Αγορά Επικουρικών Υπηρεσιών

Στην αγορά αυτή εμφανίζονται οι ανάγκες των καταναλωτών για διασφάλιση της ποιότητας και αξιοπιστίας της τροφοδότησης τους. Εδώ:

- Παρέχουν επικουρικές υπηρεσίες οι εγχώριοι παραγωγοί, που χρησιμοποιούν θερμικές και υδροηλεκτρικές μονάδες.
- Πληρώνουν οι εκπρόσωποι του εγχώριου φορτίου (προμηθευτές και επιλεγέντες πελάτες) και οι εξαγωγείς (προμηθευτές και παραγωγοί)

- Μηχανισμός αγοράς για τη χωροθέτηση της παραγωγής κοντά στα κέντρα κατανάλωσης

Μέσω του μηχανισμού αυτού γίνεται προσπάθεια ώστε οι νέες μονάδες παραγωγής να βρίσκονται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στα κέντρα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Προς το σκοπό αυτό, προβλέπεται αυξημένη συμμετοχή στην ετήσια χρέωση χρήσης συστήματος των παραγωγών του βορρά καθώς και αυξημένη αποζημίωση παραγωγών του νότου, κατά τις λίγες ώρες που παρατηρείται συμφόρηση του Συστήματος κατά τη μεταφορά ενέργειας από το Βορρά στο Νότο.

Συγκεκριμένα, στο αντικείμενο του ΗΕΠ περιλαμβάνονται οι ακόλουθοι στόχοι:

- Κατάρτιση του βέλτιστου προγράμματος ένταξης μονάδων και έγχυσης ηλεκτρικής ενέργειας για την εξυπηρέτηση της ζήτησης την επόμενη μέρα. Σημειώνεται ότι ορισμένες ποσότητες εγγεόμενης ενέργειας έχουν εγγυημένη απορρόφηση και προσφέρονται σε προσυμφωνημένη εγγυημένη τιμή, ώστε να είναι βέβαιη η παραγωγή και έγχυσή τους στο Σύστημα. Αυτές οι προσφορές είναι Μη Τιμολογούμενες Προσφορές (ΜΤΠ) και είναι ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης και βιομάζας. Ο ίδιος ο ΛΑΓΗΕ ως ένας συμβολικός παραγωγός εκπροσωπεί όλη την παραγόμενη ενέργεια από ΜΤΠ συμμετέχοντας σε όλες τις διαδικασίες της επίλυσης του ΗΕΠ. Αυτό συμβαίνει διότι ο ΛΑΓΗΕ είναι αυτός που διατηρεί και διαχειρίζεται τον Ειδικό Λογαριασμό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στον οποίο πραγματοποιούνται οι συναλλαγές του ΛΑΓΗΕ με τους παραγωγούς των ΜΤΠ.



- Καταμερισμός της Ημέρας Κατανομής (Day of Dispatch), με τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται το κοινωνικό πλεόνασμα (διαφορά του κοινωνικού οφέλους από το συνολικό κόστος παραγωγής). Ως Ημέρα Κατανομής ορίζεται η επόμενη ημέρα που θα εισαχθεί στον ΗΕΠ, χωρισμένη σε διαστήματα μίας ώρας (Περίοδοι Κατανομής).
- Υπολογισμός κόστους απορρόφησης ηλεκτρικής ενέργειας από ΜΤΠ.
- Προσδιορισμός της Οριακής Τιμής Παραγωγής σε κάθε Λειτουργική Ζώνη για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής.
- Υπολογισμός της Οριακής Τιμής Συστήματος (ΟΤΣ) για την ενέργεια, για κάθε περίοδο κατανομής της Ημέρας Κατανομής.
- Κατάρτιση προγραμμάτων Επικουρικών Υπηρεσιών ώστε να καλύπτονται οι σχετικές ανάγκες για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής στο ελάχιστο συνολικό κόστος.
- Υπολογισμός των Τιμών Εφεδρείας για κάθε τιμολογούμενη Επικουρική Υπηρεσία για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής.

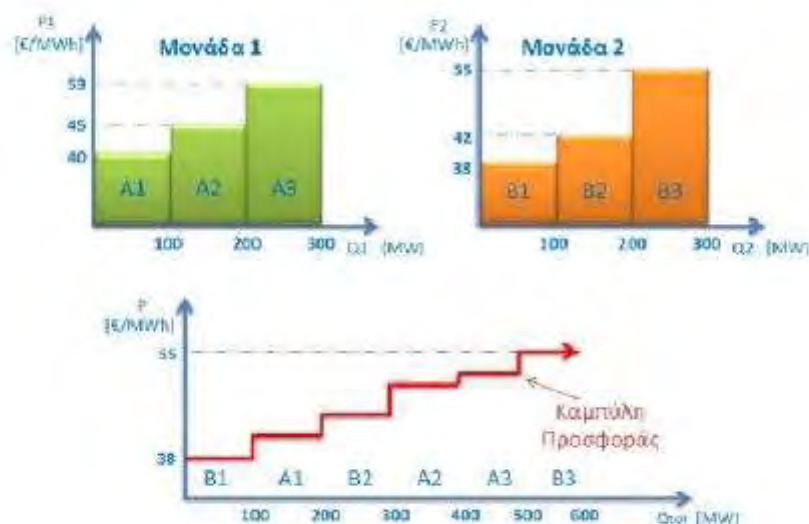
Η τελική φάση της Χονδρεμπορικής Αγοράς περιλαμβάνει την εκ των υστέρων εκκαθάριση των αποκλίσεων της αγοράς, κατά την οποία υπολογίζεται η Οριακή Τιμή Αποκλίσεων (ΟΤΑ).

#### Διαμόρφωση Οριακής Τιμής Συστήματος (ΟΤΣ)

Η Οριακή Τιμή του Συστήματος (ΟΤΣ) αντιστοιχεί στην υψηλότερη τιμή βαθμίδος προσφοράς ενέργειας που εντάσσεται στο Πρόγραμμα ΗΕΠ, και αποκαλύπτει κατά τον τρόπο αυτό, ενόψει και των περιορισμών των προσφερόμενων τιμών, την πραγματική οριακή αξία της ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται δυνατότητα ανάπτυξης χρηματιστηριακών προϊόντων διαχείρισης οικονομικού κινδύνου με προφανή οφέλη για τις επενδύσεις, τις τιμές και τον ανταγωνισμό στην αγορά.

Στην Ημερήσια Αγορά, ανάλογα με τις οικονομικές προσφορές από κάθε μονάδα παραγωγής, διαμορφώνεται κάθε ώρα η Οριακή Τιμή του Συστήματος που αντιστοιχεί στην ακριβότερη προσφορά από μονάδα που ήταν οριακά απαραίτητη για να καλυφθεί η ζήτηση ηλεκτρισμού. Όλες οι μονάδες που έκαναν χαμηλότερες προσφορές επιλέγονται για να λειτουργήσουν και εισπράττουν έσοδα σύμφωνα με την Οριακή Τιμή Συστήματος και όχι σύμφωνα με την οικονομική τους προσφορά. Έτσι έχουν έσοδα πάνω από το λειτουργικό τους κόστος, προκειμένου ακριβώς να εξυπηρετήσουν τις δαπάνες κεφαλαίου. Σε αυτήν την Οριακή Τιμή Συστήματος πληρώνουν όσοι αγοράζουν ηλεκτρική ενέργεια για την κατανάλωση.

Επιχειρώντας μια απλή περιγραφή του τρόπου υπολογισμού της ΟΤΣ, σύμφωνα με τις βασικές αρχές της μικροοικονομικής θεωρίας, μπορεί να αναφερθεί ότι οι μονάδες παραγωγής κατατάσσονται αναλόγως των προσφορών τους σε αύξουσα σειρά, ξεκινώντας από τη χαμηλότερη προσφερόμενη τιμή για ορισμένη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας και καταλήγοντας στην υψηλότερη προσφερόμενη τιμή, διαμορφώνοντας έτσι την καμπύλη προσφοράς[11]



Εικόνα 1.16: Διαμόρφωση της καμπύλης προσφοράς

Στο σημείο όπου οι προσφερόμενες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας εξυπηρετούν το ζητούμενο φορτίο, σημείο τομής της καμπύλης προσφοράς με τη καμπύλη ζήτησης, καθορίζεται και η ΟΤΣ. Στην ουσία, η ΟΤΣ συμπίπτει με την προσφορά της τελευταίας μονάδας που πρέπει να λειτουργήσει για να καλυφθεί η ζήτηση. Κατά συνέπεια, οι παραγωγοί που προσφέρουν ενέργεια σε κόστος μικρότερο της ΟΤΣ ωφελούνται αφού καρπώνονται την οικονομική διαφορά μεταξύ της ΟΤΣ και του οριακού κόστους των μονάδων. Αντίθετα, οι παραγωγοί που προσφέρουν σε οριακό κόστος μεγαλύτερο της ΟΤΣ μένουν εκτός αγοράς και δεν παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Για λόγους προστασίας των καταναλωτών και διαμόρφωσης συνθηκών υγιούς ανταγωνισμού τίθεται διοικητικά ανώτερο όριο ως προς την προσφερόμενη τιμή, το οποίο έχει τεθεί ίσο με 150€/MWh καθώς και κατώτερο επίπεδο προσφορών, το οποίο είναι το μεταβλητό κόστος της μονάδας, ώστε στις περισσότερες περιπτώσεις οι παραγωγοί να πληρώνονται το κόστος καυσίμου τους.



Εικόνα 1.17: Επίδραση της ζήτησης στη διαμόρφωση της OTS



Εικόνα 1.18: Επίδραση των ΜΤΠ στη διαμόρφωση της OTS

### Διαδικασία Εκκαθάρισης Αποκλίσεων

Ως Απόκλιση Παραγωγής-Ζήτησης ορίζεται κατά Συμμετέχοντα και κατά Περίοδο Κατανομής:

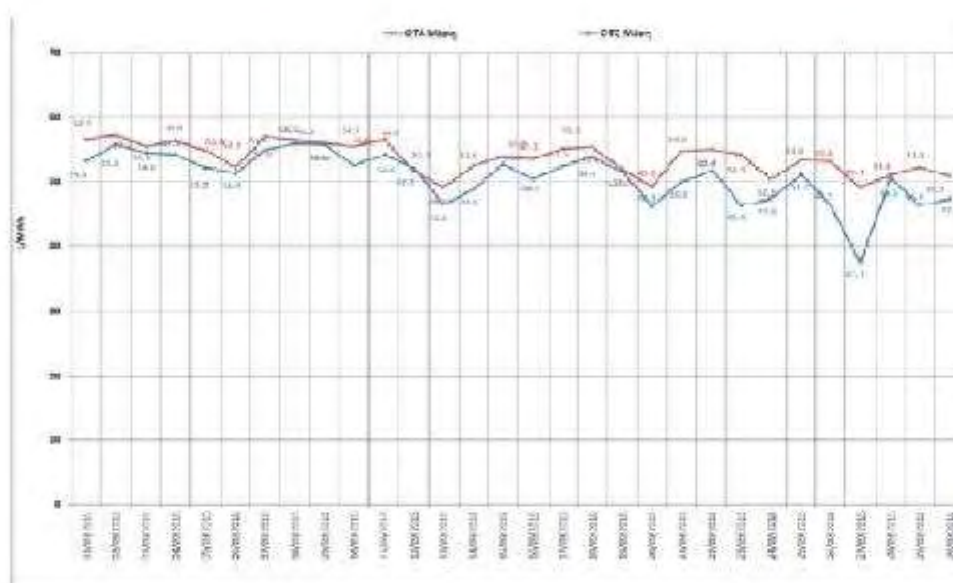
- Η διαφορά μεταξύ της ποσότητας ενέργειας σε MWh που προσδιορίζεται από εντολή κατανομής για έγχυση στο σύστημα, και της ποσότητας ενέργειας που μετρήθηκε για την ίδια περίοδο κατανομής στο μετρητή της μονάδας του συμμετέχοντα με το σύστημα ή το δίκτυο ή στους μετρητές διασυνδέσεων που εκπροσωπεί ο συμμετέχων
- Η διαφορά μεταξύ της ποσότητας ενέργειας σε MWh, που μετρήθηκε για την ίδια περίοδο κατανομής στους μετρητές φορτίου ή στους μετρητές διασύνδεσης που εκπροσωπεί ο συμμετέχων, και της ποσότητας ενέργειας που δηλώθηκε στη δήλωση φορτίου ενός συμμετέχοντα, όπως εντάχθηκε στο πρόγραμμα ΗΕΠ για μία περίοδο κατανομής.

Οι Αποκλίσεις αυτές εκκαθαρίζονται σε μια ενιαία τιμή (€/MWh) που ονομάζεται Οριακή Τιμή Αποκλίσεων (ΟΤΑ)

Ως επιβεβλημένη μεταβολή παραγωγής σε MWh μίας κατανεμόμενης μονάδας για μία περίοδο κατανομής, ορίζεται η διαφορά μεταξύ της ποσότητας ενέργειας που δηλώθηκε στην προσφορά έγχυσης για την κατανεμόμενη μονάδα και όπως αυτή εντάχθηκε στο πρόγραμμα ΗΕΠ για την περίοδο κατανομής και της ποσότητας ενέργειας όπως την προσδιορίζει εντολή κατανομής για έγχυση στο σύστημα για την περίοδο κατανομής.

Η εκκαθάριση αποκλίσεων περιλαμβάνει τη διευθέτηση των συναλλαγών σχετικά με τις αποκλίσεις παραγωγής – ζήτησης, τις επιβεβλημένες μεταβολές παραγωγής, τις επικουρικές υπηρεσίες και την εφεδρεία ενέργειας καθώς και τους λογαριασμούς προσαυξήσεων. Για το σκοπό αυτό, κατά τη διαδικασία εκκαθάρισης αποκλίσεων και για κάθε ημέρας κατανομής υπολογίζονται:

- Η ποσότητα ενέργειας των επιβεβλημένων μεταβολών παραγωγής και των αποκλίσεων παραγωγής-ζήτησης (σε MWh) που αντιστοιχούν σε κάθε συμμετέχοντα για κάθε περίοδο κατανομής.
- Το χρηματικό ποσό χρέωσης ή πίστωσης που αντιστοιχεί σε επιβεβλημένες μεταβολές παραγωγής και αποκλίσεις παραγωγής- ζήτησης και σε κάθε συμμετέχοντα για μία ημέρα κατανομής.
- Το χρηματικό ποσό πίστωσης κάθε συμμετέχοντα για την διαθεσιμότητα, την ετοιμότητα παροχής και την παροχή επικουρικών υπηρεσιών και εφεδρείας ενέργειας για μία ημέρα κατανομής.
- Οι χρεώσεις και πιστώσεις στο λογαριασμό προσαυξήσεων. [14]



*Εικόνα 1.19: Μέση ημερήσια ΟΤΣ και ΟΤΑ Σεπτέμβριος 2015 [9]*

#### 1.5.4 Μηχανισμός της Αγοράς Μακροχρόνιας Διαθεσιμότητας Ισχύος

Ο μηχανισμός της Αγοράς Μακροχρόνιας Διαθεσιμότητας Ισχύος έχει ως στόχο τη μείωση του επιχειρηματικού κινδύνου του παραγωγού, ο οποίος λαμβάνει αμοιβή έναντι μέρους του κόστους κεφαλαίου επένδυσης, αλλά και του προμηθευτή ο οποίος εξασφαλίζει την αποφυγή υπερβολικά υψηλών τιμών στην ημερήσια Αγορά Ενέργειας και Επικουρικών Υπηρεσιών (Χονδρεμπορική Αγορά), ακριβώς διότι μειώνεται ο βραχυχρόνιος κίνδυνος του παραγωγού.

Η Αγορά Μακροχρόνιας Διαθεσιμότητας Ισχύος δημιουργήθηκε για να εξασφαλίζει την επάρκεια και την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας σε μακροχρόνια βάση αμείβοντας την αξιοπιστία κάθε Μονάδας και υλοποιείται με την έκδοση από κάθε Παραγωγό Αποδεικτικών Διαθεσιμότητας Ισχύος (ΑΔΙ) που αντιστοιχούν στην πραγματική διαθεσιμότητα κάθε Μονάδας του, όπως αυτή προσδιορίζεται από το Διαχειριστή του Συστήματος. Για παράδειγμα, μία Μονάδα με εγκατεστημένη ισχύ 300 MW θα μπορούσε, μετά τον προσδιορισμό της διαθεσιμότητάς της από τον Διαχειριστή του Συστήματος, να εκδώσει ΑΔΙ για 250 MW.

Κάθε Προμηθευτής συνάπτει με τους Παραγωγούς Συμβάσεις Διαθεσιμότητας Ισχύος (ΣΔΙ), με οικονομικούς όρους που συμφωνούνται μεταξύ τους, προκειμένου να καλύψει την Υποχρέωση Επάρκειας Ισχύος που του αναλογεί. Ως σήμερα, και για τη διευκόλυνση των συμμετεχόντων στην αγορά, λειτουργεί παράλληλα και ένας εναλλακτικός μηχανισμός, ο Μεταβατικός Μηχανισμός Διασφάλισης Επαρκούς Ισχύος. Σύμφωνα με αυτόν, οι κάτοχοι Άδειας Παραγωγής και οι Εκπρόσωποι Φορτίου μπορούν να επιλέξουν να μην συνάψουν απευθείας μεταξύ τους ΣΔΙ, αλλά να απευθυνθούν στον Διαχειριστή του Συστήματος, ο- πότε οι μεν Εκπρόσωποι υποχρεούνται στην καταβολή ενός τιμήματος ανάλογου της Υποχρέωσης Επάρκειας Ισχύος τους, οι δε Παραγωγοί εισπράττουν χρηματικά ποσά ανάλογα με τη διαθέσιμη ισχύ των ΑΔΙ που έχουν καταθέσει στο σχετικό Μητρώο ΑΔΙ του Διαχειριστή.

## 2. Παραδοσιακό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

### 2.1 Εισαγωγή

Τα υπάρχοντα ΣΗΕ έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία 70 χρόνια και τροφοδοτούνται από μεγάλες κεντρικές μονάδες παραγωγής. Η ηλεκτρική ενέργεια μέσω μετασχηματιστών διοχετεύεται σε ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο υψηλής τάσης, γνωστό και ως δίκτυο Μεταφοράς. Κάθε ξεχωριστή μονάδα παραγωγής, είτε πρόκειται για υδροηλεκτρικό εργοστάσιο, είτε λιγνιτική μονάδα, είτε πυρηνικό εργοστάσιο, χαρακτηρίζεται από μια μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ της τάξης τουλάχιστον του 1GW. Τις περισσότερες φορές το σύστημα μεταφοράς είναι επιφορτισμένο να μεταφέρει τις μεγάλες ποσότητες ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Στη συνέχεια η ενέργεια αυτή, μέσω δύο ή τριών σταδίων υποβιβασμού σε μετασχηματιστές των δικτύων διανομής, διοχετεύεται στα δίκτυα των τελικών καταναλωτών.

Το τμήμα της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας διαθέτει κατάλληλη τηλεπικοινωνιακή δικτύωση που του εξασφαλίζει αποδοτική λειτουργία, δυνατότητα εφαρμογής των κανόνων της αγοράς, διατήρηση ενός καλού επιπέδου ασφάλειας και γενικότερα, την ολοκληρωμένη λειτουργία αυτού του τμήματος του Συστήματος. Επίσης διατίθενται συστήματα αυτόματου ελέγχου που εγγυώνται έως ένα βαθμό την εκτίμηση της συμπεριφοράς των μονάδων παραγωγής και του συστήματος μεταφοράς σε καταστάσεις σημαντικών διαταραχών.

Από την άλλη πλευρά, τα δίκτυα διανομής είναι ιδιαίτερα εκτεταμένα αλλά σχεδόν απόλυτα παθητικά, με ελάχιστη δυνατότητα επικοινωνίας και με ελάχιστο έλεγχο, και αυτόν τοπικά περιορισμένο. Αν εξαιρεθούν οι περιπτώσεις πολύ μεγάλων καταναλωτών (όπως οι μεταλλουργίες και τα χυτήρια αλουμινίου), δεν υπάρχει δυνατότητα εποπτείας σε πραγματικό χρόνο του επιπέδου της τάσης ή του ρεύματος ενός φορτίου. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των φορτίων και του ΣΗΕ περιορίζεται στην απλή εξασφάλιση κάλυψης των αναγκών των καταναλωτών σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η λειτουργία του ΣΗΕ που προαναφέρθηκε χαρακτηρίζεται ως μη αποδοτική, ανελαστική και σίγουρα όχι οικονομική. Τα επιμέρους χαρακτηριστικά που είναι υπεύθυνα για αυτή τη λειτουργία θα αναλυθούν ακολούθως.

Η επανάσταση που έχει συντελεστεί στις τεχνολογίες επικοινωνίας, ειδικά όσον αφορά το Διαδίκτυο, παρέχει τη δυνατότητα για πολύ καλύτερη εποπτεία και έλεγχο των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας καθιστώντας τη λειτουργία τους αποδοτικότερη, οικονομικότερη και περισσότερο ευέλικτη. [15]

## 2.2 Μοντέλα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

### 2.2.1 Συγκεντρωτική παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ένα κοινό χαρακτηριστικό των περισσότερων διασυνδεδεμένων ΣΗΕ είναι η συγκεντρωτική παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Μεγάλες μονάδες είναι επιφορτισμένες να παράγουν την ενέργεια η οποία καταλήγει στους καταναλωτές μέσω των δικτύων μεταφοράς και διανομής.

#### Σημαντικό πλεονέκτημα

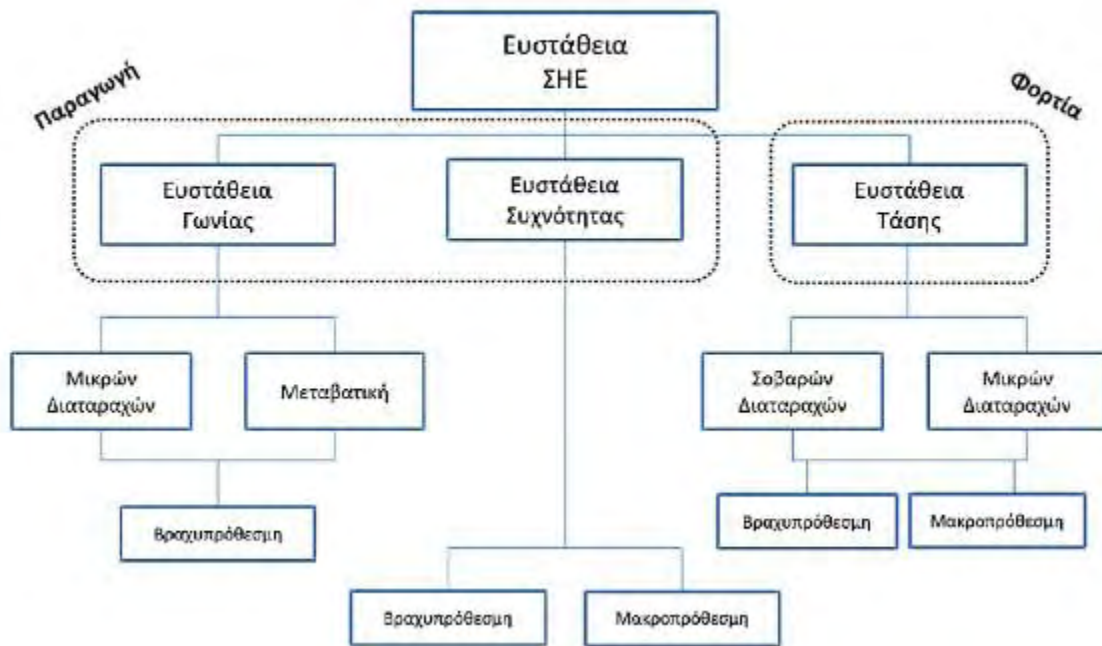
Η συγκεντρωτική παραγωγή παρουσιάζει ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα. Επιτυγχάνεται με σχετικά απλό και εύκολο τρόπο ένα καλό επίπεδο ευστάθειας στο ΣΗΕ. Οι βασικότερες παράμετροι της ευστάθειας ενός συστήματος είναι τα επίπεδα τάσης στο δίκτυο και η συχνότητα της. Οι μεγάλες μονάδες παραγωγής είναι εξοπλισμένες αποκλειστικά με σύγχρονες γεννήτριες μεγάλης ισχύος, οι οποίες είναι ο κύριος ρυθμιστής των ανωτέρω παραμέτρων. [1]

- Διατήρηση της συχνότητας του δικτύου

Η συχνότητα της τάσης του δικτύου επιβάλλεται να είναι η ίδια σε όλο το διασυνδεδεμένο σύστημα. Η διατήρηση της εξαρτάται από το ισοζύγιο ενεργού ισχύος της παραγωγής και της κατανάλωσης. Οι σύγχρονες γεννήτριες παρέχουν τη δυνατότητα να ανταποκρίνονται άμεσα στις ταχείες και βραδείες μεταβολές του φορτίου που έχουν αναλάβει να εξυπηρετούν μέσω ενός αυτόματου συστήματος ελέγχου κλειστού βρόχου, τον ρυθμιστή στροφών, ο οποίος, επιταχύνοντας ή επιβραδύνοντας την γεννήτρια, επιτυγχάνει την έξοδο της απαιτούμενης ισχύος.

- Διατήρηση των επιπέδων της τάσης στο δίκτυο

Η διατήρηση της τάσης εντός των επιτρεπόμενων ορίων περιπλέκεται από το γεγονός ότι η τάση δεν είναι ενιαία σε όλο το σύστημα με αποτέλεσμα η ρύθμιση της να μην γίνεται αποκλειστικά με ρύθμιση της λειτουργίας των γεννητριών. Εξίσου σημαντικός είναι ο ρόλος των μετασχηματιστών και των ειδικών διατάξεων ελέγχου ενεργού και αέργου ισχύος (διατάξεις πυκνωτών και πηνίων) σε διάφορα σημεία του δικτύου. Εντούτοις, οι μεγάλες σύγχρονες γεννήτριες είναι αυτές που επιβάλλουν και διατηρούν τα αρχικά επίπεδα τάσης. Το αυτόματο σύστημα ρύθμισης τάσης, είναι αυτό που διατηρεί σταθερό το μέτρο της τάσης στην έξοδο της γεννήτριας ρυθμίζοντας κατάλληλα το ρεύμα διέγερσης του δρομέα της γεννήτριας.



**Εικόνα 2.1: Κατηγοριοποίηση μορφών ευστάθειας ΣΗΕ**

### Τα βασικά μειονεκτήματα

Η συγκεντρωτική παραγωγή παρουσιάζει όμως και σημαντικά μειονεκτήματα. Το μοντέλο λειτουργίας της συγκεντρωτικής παραγωγής χαρακτηρίζεται από πολύ αυξημένα κόστη:

- Κάθε στιγμή οι μονάδες συγκεντρωτικής παραγωγής πρέπει να καλύπτουν την συνολική ενεργειακή ζήτηση με τις εξής συνέπειες:
  - Τα ιδιαίτερα υψηλά κόστη επενδύσεων για νέες μονάδες ή για αναβάθμιση των ήδη υπαρχουσών. Η εγκατάσταση μιας μεγάλης μονάδας (άνω των 500MW) πρέπει να εντάσσεται στο μακροχρόνιο ενεργειακό προγραμματισμό σε επίπεδο κράτους αφού απαιτεί υψηλές επενδύσεις (κρατικές και ιδιωτικές) και ο χρόνος κατασκευής της είναι της τάξης των 5 χρόνων.
  - Τη λειτουργία των μονάδων σε ισχύ χαμηλότερη από την ονομαστική τους, περίπου στο 90%. Λειτουργούν, δηλαδή, με αρκετή στρεφόμενη εφεδρεία ώστε να μπορεί να καλυφθεί μια ενδεχόμενη στιγμιαία αύξηση της ζήτησης που δεν μπορεί να προβλεφθεί ή μια απότομη μείωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας επιφέρει μια μικρή αλλά σημαντική σπατάλη καυσίμων, διότι η βέλτιστη απόδοση της ηλεκτρικής ισχύος εξόδου σε σχέση με την κατανάλωση καυσίμου επιτυγχάνεται στα επίπεδα της ονομαστικής ισχύος κάθε γεννήτριας.
- Το σύστημα μεταφοράς είναι αρκετά εκτεταμένο, με γραμμές μήκους πολλών χιλιομέτρων. Αυτό έχει ως συνέπειες:



- ο Το μεγάλο κόστος επενδύσεων σε ακριβό εξοπλισμό υψηλής και υπερυψηλής τάσης (π.χ. γραμμές, μετασχηματιστές, μονωτήρες, ηλεκτρονικά ισχύος). Αναγκαστικά το σύστημα μεταφοράς λειτουργεί σε αυτά τα επίπεδα για να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες μεταφοράς.
- ο Το μεγάλο κόστος θερμικών απωλειών. Παρά τη λειτουργία υπό υψηλής ή υπερυψηλής τάσης δεν είναι δυνατό να αποφευχθούν οι απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας επί γραμμών μεταφοράς τόσο μεγάλου μήκους. Σε περιπτώσεις αυξημένης ροής ενέργειας επί των γραμμών μεταφοράς, αυξάνονται δραματικά οι θερμικές απώλειες, λόγω της έστω και μικρής αύξησης της έντασης του ρεύματος.
- ο Το αυξημένο κόστος επέκτασης και συντήρησης του δικτύου και αποκατάστασης βλαβών. Στην πλειοψηφία τους οι γραμμές του συστήματος, διασχίζουν δύσβατες περιοχές όπου δεν υπάρχει κατάλληλο οδικό δίκτυο. Η επέκτασή του χρειάζεται μακροχρόνιο ενεργειακό σχεδιασμό και η κατασκευή όπως και η συντήρηση του απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και έχει υψηλό κόστος. Επιπλέον, η εποπτεία του είναι περιορισμένη. Αυτό κάνει δύσκολο και ακριβό τον ακριβή εντοπισμό μιας βλάβης και την αποκατάστασή της.

Μια θεμελιώδους σημασίας μέθοδος που χρησιμοποιείται σήμερα για τη μελέτη των ΣΗΕ ονομάζεται Ανάλυση Ροής Φορτίου. Η ανάλυση αυτή υπολογίζει (κατά μέτρο και γωνία) τις άγνωστες τάσεις των ζυγών και τις άγνωστες ροές ισχύος (ενεργού και άεργου) στις γραμμές του ΣΗΕ, για μια συγκεκριμένη επιλογή ισχύος παραγωγής, τάσεων γεννητριών και φορτίων στους ζυγούς. Οι μελέτες ροής φορτίου είναι πολύ χρήσιμες για διάφορους λόγους, όπως για [5]

- Την επιλογή του πλέον οικονομικού σημείου λειτουργίας των γεννητριών του συστήματος
- Τη διατήρηση των τάσεων των ζυγών και των ροών στις γραμμές εντός προκαθορισμένων ορίων λειτουργίας
- Τις μελέτες επέκτασης του συστήματος παραγωγής και μεταφοράς

Το πρόβλημα είναι ότι στις μελέτες ροής φορτίου κάθε υποδικτύου των σημερινών ΣΗΕ ορίζεται ένας ζυγός, ο ζυγός αναφοράς, ο οποίος στην πραγματικότητα αντιπροσωπεύει το σημείο σύνδεσης του υπό μελέτη υποδικτύου με το υπόλοιπο ΣΗΕ (το λεγόμενο άπειρο ΣΗΕ), ο οποίος είναι επιφορτισμένος με το ρόλο του ρυθμιστή. Από τον ζυγό αναφοράς απαιτείται να διατηρεί το μέτρο και τη γωνία της τάσης σταθερά, και να εγχέει ή να απορροφά την ισχύ που απαιτείται για να παραμένει το υποδίκτυο εντός των ορίων ευστάθειας. Στην πλειονότητα τους, οι ζυγοί αναφοράς των υποδικτύων είναι συνδεδεμένοι με τη σειρά τους με το σύστημα μεταφοράς ή τα ανώτερα επίπεδα των δικτύων διανομής. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα μεταφοράς και ένα μέρος των δικτύων διανομής έχουν κάθε στιγμή την ευθύνη να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των φορτίων των υποδικτύων (που συμπεριφέρονται στοχαστικά) και να διατηρούν τα επίπεδα τάσης και συχνότητας εντός των προδιαγραφμένων ορίων.

Η στοχαστικότητα και η ανελαστικότητα της ζήτησης από τη μια πλευρά, και η μη ελεγχόμενη παραγωγή εντός των δικτύων (π.χ. βιομηχανικές γεννήτριες, ανανεώσιμες πηγές) από την άλλη, καθιστούν ως μείζονος σημασίας τη λειτουργία του συστήματος μεταφοράς και των μεγάλων μονάδων

συγκεντρωτικής παραγωγής για τη διατήρηση της ευστάθειας του ΣΗΕ. Η εξασφάλιση όμως της εύρυθμης λειτουργίας του ΣΗΕ απαιτεί συνεχώς νέες επενδύσεις. Επιπλέον, δεν δίνει τη δυνατότητα περιορισμού των απωλειών στη μεταφορά λόγω των μεγάλων ροών ηλεκτρικής ενέργειας για μεγάλες αποστάσεις και προκαλεί μεγάλη κατανάλωση καυσίμων στις μεγάλες μονάδες παραγωγής.

### 2.2.2 Διεσπαρμένη παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Από τις αρχές του 1990 έχει αρχίσει να εμφανίζεται ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη σύνδεση μικρών μονάδων παραγωγής απευθείας στο δίκτυο διανομής. Το είδος αυτό της έγχυσης ενέργειας στο δίκτυο ονομάζεται Διεσπαρμένη Παραγωγή. Η διεσπαρμένη παραγωγή αποτελεί την εναλλακτική προσέγγιση του προβλήματος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και διαφαίνεται ότι είναι ικανή να αποτελέσει την απάντηση στα μειονεκτήματα της συγκεντρωτικής παραγωγής. Από άποψη ισχύος, η διεσπαρμένη παραγωγή κυμαίνεται κατά κανόνα σε ένα εύρος 1KW έως 100MW, ανά εγκατάσταση. Οι εγκαταστάσεις που εντάσσονται στη διεσπαρμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι:

- Μονάδες ΑΠΕ, στις οποίες εντάσσονται [7]:
- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα

Αποτελούνται από συστοιχίες πάνελ πυριτίου που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική υπό συνεχή τάση (DC) και από κυκλώματα ισχύος-αντιστροφείς (inverters) που μετατρέπουν την συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη (AC), κατάλληλη για το δίκτυο. Συνήθως, η εγκατεστημένη ισχύ των συστημάτων κυμαίνεται συνήθως από μερικά KW έως μερικές εκατοντάδες MW στα πολύ μεγάλα πάρκα, τα οποία όμως λόγω της υψηλής ισχύος συνδέονται απευθείας στο σύστημα μεταφοράς και δεν περιλαμβάνονται στη διεσπαρμένη παραγωγή.

- Οι ανεμογεννήτριες (αιολικά πάρκα)

Αρχικά, μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε μηχανική μέσω ενός ρότορα με πτερύγια και, στη συνέχεια, σε ηλεκτρική μέσω μιας γεννήτριας. Η ονομαστική ισχύς μιας ανεμογεννήτριας κυμαίνεται συνήθως από 200 KW μέχρι 2MW, αλλά κατασκευάζονται και ανεμογεννήτριες για υπεράκτια αιολικά πάρκα, με ονομαστική ισχύ έως και 8MW (αρκετές εταιρίες εργάζονται στην πιλοτική ανάπτυξη ανεμογεννητριών ισχύος 10MW). Η εγκατεστημένη ισχύς ενός αιολικού πάρκου κυμαίνεται από μερικά MW μέχρι 1-2 GW, με τις πολύ μεγάλες εγκαταστάσεις να μην εντάσσονται στη διεσπαρμένη παραγωγή, αφού απαιτούν την σύνδεση απευθείας στο σύστημα μεταφοράς.

- Οι μονάδες βιομάζας-βιοκαυσίμων

Είναι μικρές μονάδες παρόμοιες με τις συμβατικές με τη διαφορά ότι ως καύσιμο χρησιμοποιούν βιομάζα ή βιοκαύσιμο. Η βιομάζα (οργανική ύλη) είναι φυτικά υπολείμματα (π.χ. από αγροτικές εργασίες, δασοκομία, προνίδια, πυρήνα ελιάς), ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα) και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων. Τα βιοκαύσιμα είναι υγρά ή αέρια καύσιμα που παράγονται από βιομάζα. Τα κυριότερα είναι:

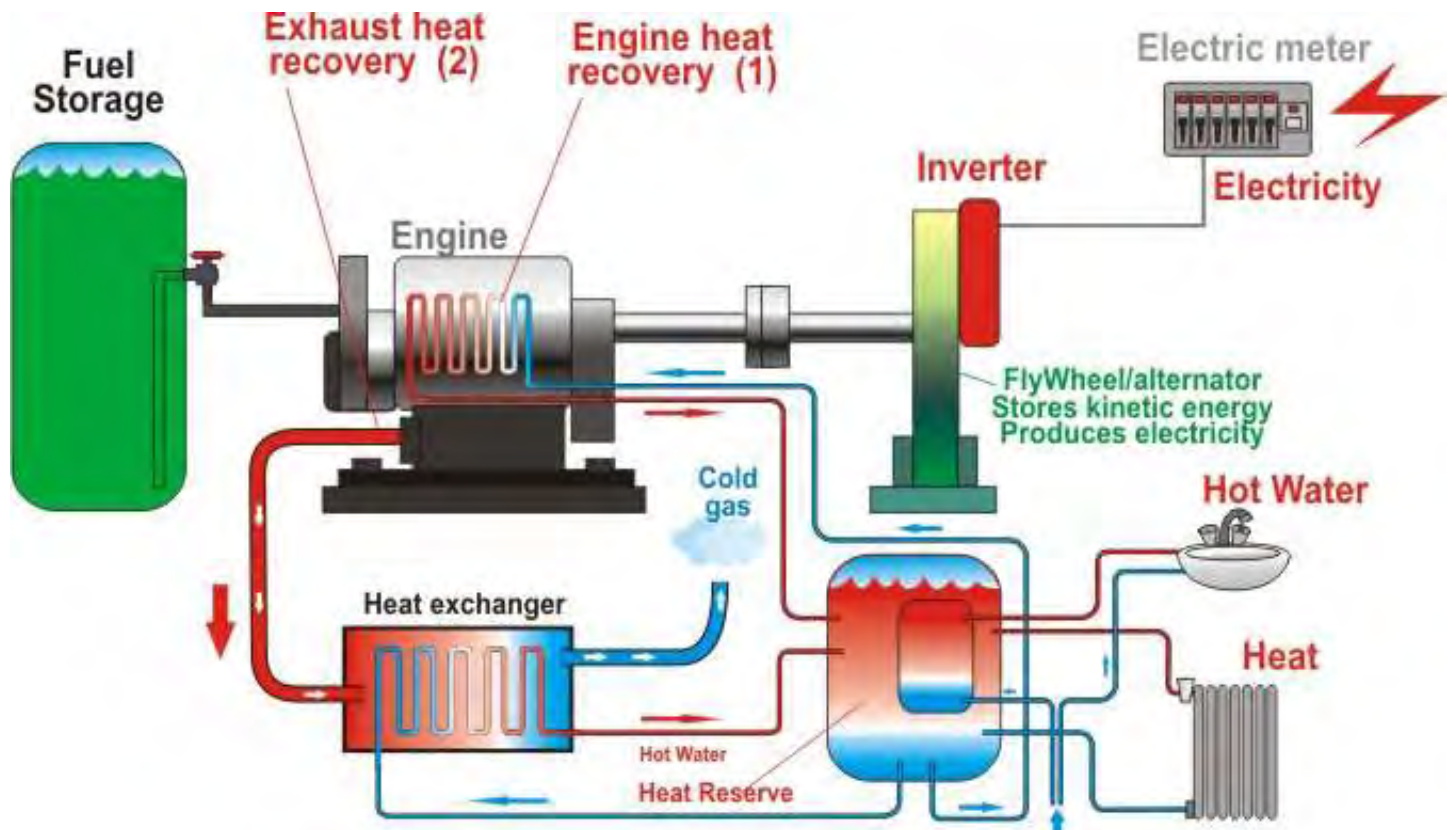
- Το βιοντίζελ που παράγεται από φυτικά ή ζωικά έλαια και λίπη και είναι ποιότητας ντίζελ πετρελαίου

- Η βιοαιθανόλη που παράγεται από την αλκοολική ζύμωση βιομάζας πλούσιας σε ζάχαρη
- Το βιοαέριο που παράγεται από βιομάζα, όπως το αέριο που παράγεται σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού, και είναι ποιότητας φυσικού αερίου.
- Οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί

Εκμεταλλεύονται την κινητική ενέργεια του νερού μετατρέποντας τη σε μηχανική και ακολούθως σε ηλεκτρική. Σε αντίθεση με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια, οι μικροί σταθμοί εκμεταλλεύονται την φυσική ροή και τις φυσικές υδατοπτώσεις του νερού χωρίς την κατασκευή τεχνητών λιμνών και μεγάλων φραγμάτων. Επιπλέον, η εγκατεστημένη ισχύ τους φθάνει μέχρι τα 300KW. Τα μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια ανήκουν μεν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά δεν εντάσσονται στη διεσπαρμένη παραγωγή λόγω της ισχύος τους που φθάνει τις εκατοντάδες MW, και της σύνδεσής τους στο σύστημα μεταφοράς. Άλλωστε η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τα μεγάλα υδροηλεκτρικά ήταν η αιτία για την δημιουργία των πρώτων συστημάτων μεταφοράς.

- Οι μονάδες Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού-Θερμότητας (ΣΗΘ)(CHP Cogeneration)

Στις μονάδες ΣΗΘ, η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε μηχανική και θερμική. Η μηχανική ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η θερμική χρησιμοποιείται συνήθως για την παραγωγή ατμού, θερμού αέρα ή νερού. Το κύριο πλεονέκτημα της ΣΗΘ είναι η καλύτερη αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου του καυσίμου σε σύγκριση με τις απλές βιομηχανικές εγκαταστάσεις που παράγουν ατμό ή θερμό νερό για τις ανάγκες κάποιου σταδίου της παραγωγικής διαδικασίας (process heat) και ταυτόχρονα αγοράζουν το ρεύμα που χρειάζονται για άλλες διεργασίες από προμηθευτές ενέργειας. Επίσης, οι μονάδες ΣΗΘ αξιοποιούν καλύτερα το ενεργειακό περιεχόμενο του καυσίμου συγκριτικά με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής αποκλειστικά ρεύματος. Αν και στις μονάδες ΣΗΘ γίνεται συνήθως πρώτα η παραγωγή θερμότητας, είναι δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ατμού (ή χρήσιμης θερμικής ενέργειας σε άλλη μορφή) με διαφορετική σειρά και σε διάφορες αναλογίες. Γενικά, με κριτήριο το αν η βιομηχανική μονάδα έχει μεγαλύτερες ανάγκες σε θερμότητα ή σε ρεύμα μπορεί να παράγεται πρώτα ΗΕ και να αξιοποιείται στην συνέχεια η θερμότητα, που σε άλλη περίπτωση θα αποβαλλόταν, για την παραγωγή ατμού ή θερμού νερού χρήσιμου σε κάποιο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας (topping-cycle-systems). Είναι δυνατό να συμβαίνει το αντίστροφο, δηλαδή να παράγεται πρώτα θερμότητα και, δευτερευόντως, από το περίσσειμά της, να παράγεται ηλεκτρική ενέργεια (bottoming-cycle-systems). Απλοποιημένα, τα συστήματα συμπαγωγής αποτελούνται από τρία βασικά μέρη, έναν κινητήρα για την οδήγηση μιας γεννήτριας (συνήθως ατμοστρόβιλος, αεριοστρόβιλος ή σε μικρότερες εφαρμογές εμβολοφόρος μηχανή εσωτερικής καύσης), την ίδια τη γεννήτρια, και έναν μηχανισμό ανάκτησης θερμότητας που συνήθως περιλαμβάνει κάποιο λέβητα. [16]



*Εικόνα 2.2: Σχηματική αναπαράσταση μονάδας ΣΗΘ*

#### Τα κύρια πλεονεκτήματα

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας, συνδεδεμένες απευθείας στο δίκτυο διανομής παρουσιάζει πολλαπλά οφέλη, τα οποία συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή όπου καταναλώνεται ελαχιστοποιεί τις απώλειες μεταφοράς, όπως επίσης και το κόστος μεταφοράς, που αποτελούν ένα σημαντικό τμήμα (άνω του 30%) του συνολικού κόστους της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η διεσπαρμένη παραγωγή συμβάλλει στην αποσυμφόρηση των ήδη υπαρχόντων δικτύων.
- Επιτρέπει τη χρήση της θερμικής ενέργειας σε εφαρμογές συμπαραγωγής, αυξάνοντας έτσι τη συνολική απόδοση του συστήματος.
- Παρέχει πολλά πλεονεκτήματα στους καταναλωτές που έχουν θερμικά φορτία μέσω των εφαρμογών συμπαραγωγής καθώς επίσης και σε εκείνους που έχουν πρόσβαση σε φθηνά καύσιμα, όπως για παράδειγμα φυσικό αέριο, αλλά και σε εκείνους που ευνοούνται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής όπου είναι εγκατεστημένοι και είναι σε θέση να αξιοποιήσουν ανανεώσιμες πηγές.
- Η εκτεταμένη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μειώνει την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων και τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου αλλά και τις επιβλαβείς εκπομπές

όπως, ενδεικτικά, οξειδίων του θείου και του αζώτου (SOx/NOx), συνεισφέροντας έτσι με ουσιαστικό τρόπο στην προστασία του περιβάλλοντος.

- Η διεσπαρμένη παραγωγή καλύπτει ένα μεγάλο εύρος τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένου πολλών ανανεώσιμων τεχνολογιών που παρέχουν ηλεκτρική ισχύ μικρής κλίμακας σε θέσεις κοντά στη κατανάλωση. Όλες αυτές οι τεχνολογίες δημιουργούν νέες ευκαιρίες στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και αυξημένο βιομηχανικό ανταγωνισμό.
- Από την επενδυτική σκοπιά του θέματος είναι πρακτικά ευκολότερο να εξευρεθούν θέσεις εγκατάστασης για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και άλλες διεσπαρμένες παραγωγές σε σχέση με θέσεις εγκατάστασης μεγάλων εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Μάλιστα, είναι ευκολότερο και κυρίως ταχύτερο οι μονάδες αυτές να συνδεθούν στο δίκτυο. Ο κίνδυνος των επενδύσεων κεφαλαίου μειώνεται, και αποφεύγονται οι περιττές δαπάνες.

#### Εμπόδια για την διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής

Μέχρι σήμερα η διεσπαρμένη παραγωγή έχει μειωμένη διείσδυση στα ΣΗΕ διότι προσκρούει στους περιορισμούς και τις προδιαγραφές που σχετίζονται με την ευστάθεια των συστημάτων και την ποιότητα της παρεχόμενης ενέργειας.

Μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να συνδέεται στο δίκτυο με εξασφαλισμένη την τήρηση αυστηρών προδιαγραφών που αποσκοπούν στην ομαλή λειτουργία του δικτύου. Αυτές οι προδιαγραφές αφορούν: [17]

- Την επάρκεια των στοιχείων του δικτύου.
- Τη συμβολή στο ρεύμα βραχυκύκλωσης του σημείου σύνδεσης.
- Τις αργές μεταβολές της τάσης.
- Τις ταχείες μεταβολές της τάσης.
- Τις εκπομπές flicker.
- Τη δημιουργία αρμονικών συνιστωσών της τάσης και του ρεύματος.

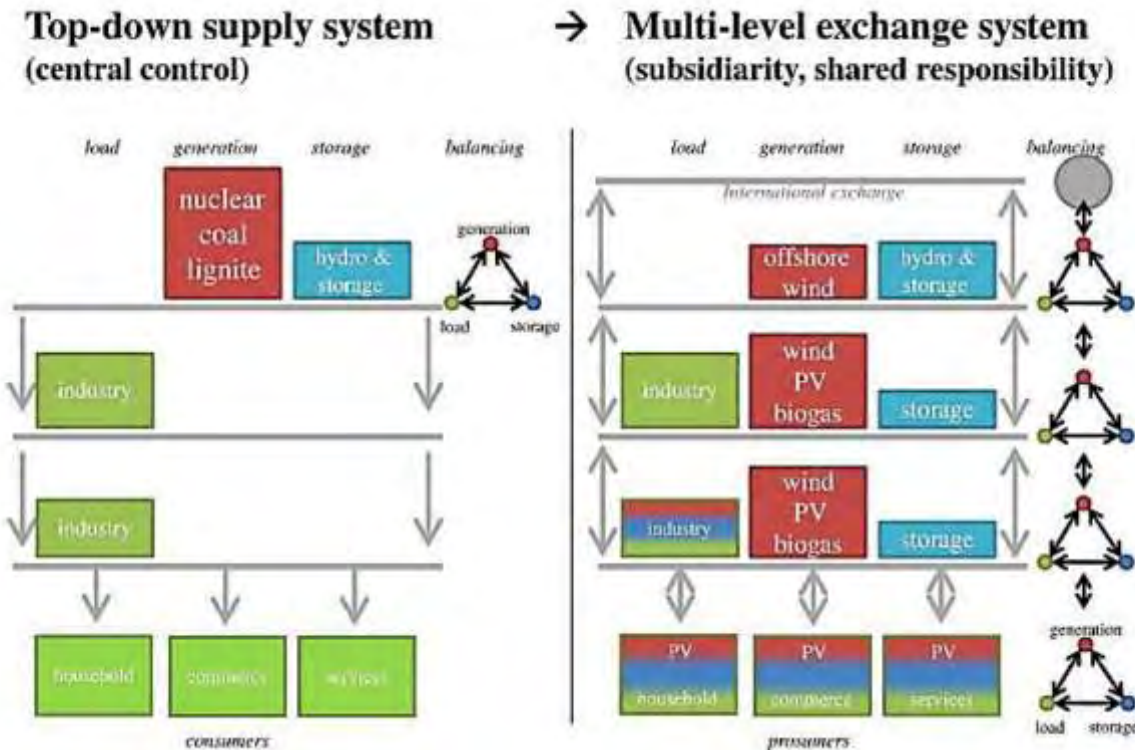
#### Προϋποθέσεις για την αύξηση της διείσδυσης της Διεσπαρμένης Παραγωγής

Η βασική προϋπόθεση για την αύξηση της διείσδυσης της διεσπαρμένης παραγωγής στα ΣΗΕ είναι η εισαγωγή εποπτείας και ελέγχου στα δίκτυα διανομής, ώστε να καταστεί εφικτή η αποφυγή των προαναφερθέντων προβλημάτων ευστάθειας. Τα τρέχοντα δίκτυα διανομής χαρακτηρίζονται από τον παθητικό τρόπο λειτουργίας τους, το χαμηλό επίπεδο αυτοματισμού και τις μειωμένες δυνατότητες κεντρικής διαχείρισης.

Η αύξηση της ευελιξίας της παραγωγής αλλά, κυρίως, η εισαγωγή ευελιξίας και στη ζήτηση είναι απαραίτητες για το δυναμικό έλεγχο του ισοζυγίου παραγωγής και ζήτησης, που είναι κρίσιμος για την ευστάθεια και την αξιοπιστία του δικτύου.

Ένας τρόπος περαιτέρω αύξησης της ευελιξίας της παραγωγής είναι ενσωμάτωση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (energy storage) και μικρών μονάδων παραγωγής με ικανότητα παροχής σταθερής ισχύος, για άμεση ανταπόκριση στη ζήτηση. Οι γεννήτριες αυτές πρέπει να έχουν αρκετή στρεφόμενη εφεδρεία, δηλαδή να λειτουργούν σε ποσοστό 70-80% της ονομαστικής τους ισχύος ώστε να μπορούν άμεσα να παρέχουν την πρόσθετη ισχύ.

Όμως, οι ανωτέρω λύσεις είναι οικονομικά ασύμφωρες. Πλέον, οι διαχειριστές των συστημάτων προσανατολίζονται στο να εφαρμόζουν μεθόδους που να εποπτεύουν και να ελέγχουν όχι μόνο την παραγωγή αλλά και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η τάση για εξηλεκτισμό των υπολοίπων τομέων κατανάλωσης ενέργειας και κυρίως των τομέων της θέρμανσης και των μεταφορών (φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων) αυξάνουν την ευελιξία των φορτίων και παρέχουν τη δυνατότητα ελέγχου μεγάλου μέρους της ζήτησης. Με τη μετατροπή μέρους της ζήτησης από ανελαστική σε ευέλικτη επιτυγχάνεται η διατήρηση της ευστάθειας του συστήματος χωρίς να υπάρχει ανάγκη εφεδρείας μέσω γεννητριών και χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του εξοπλισμού των δικτύων.

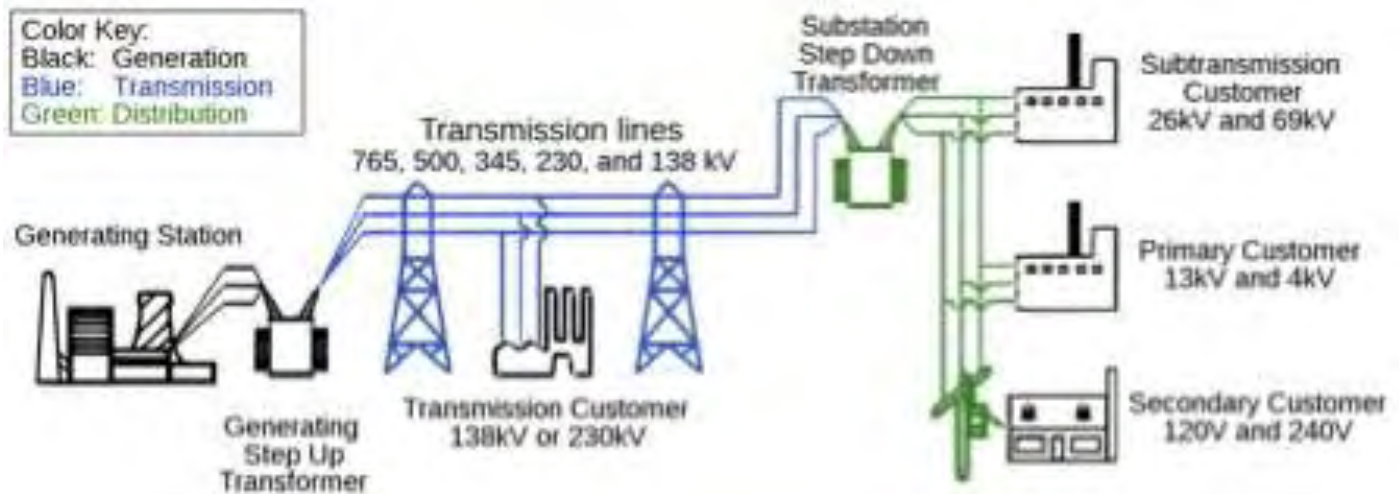


Εικόνα 2.3: Μεταβολή του τρόπου διατήρησης της ισορροπίας παραγωγής και ζήτησης στο σύγχρονο δίκτυο [17]



## 2.3 Supervisory Control and Data Acquisition

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, τα παραδοσιακά ηλεκτρικά δίκτυα τροφοδοτούνται από μεγάλες κεντρικές μονάδες παραγωγής που εγχέουν ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης του διασυνδεδεμένου Συστήματος. Η ενέργεια μεταφέρεται συνήθως σε μεγάλες αποστάσεις πριν περάσει στο δίκτυο διανομής μέσω σειράς μετασχηματιστών διανομής, ενώ στο τελικό στάδιο φθάνει στα σημεία κατανάλωσης.



Εικόνα 2.4: Παραδοσιακό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας [18]

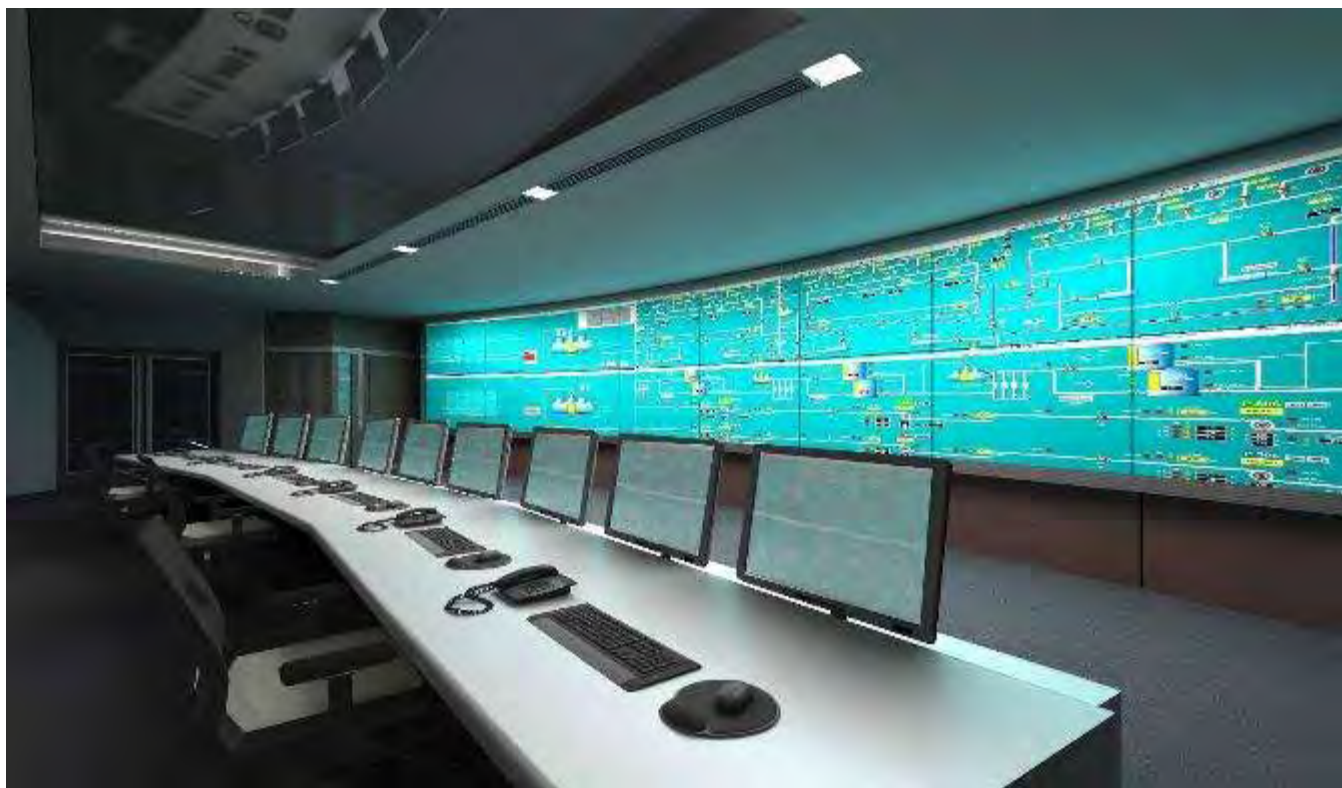
Η εποπτεία και ο έλεγχος της παραγωγής καθώς και της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι τους υποσταθμούς διανομής πραγματοποιείται μέσω των συστημάτων SCADA.

Ο όρος SCADA είναι ακρωνύμιο του όρου Supervisory Control And Data Acquisition, που σημαίνει Εποπτικός Έλεγχος και Συλλογή Δεδομένων. Ένα τέτοιο σύστημα επιτρέπει στο χειριστή να εποπτεύει και να ελέγχει διεργασίες οι οποίες βρίσκονται κατανεμημένες μεταξύ διαφόρων απομακρυσμένων σημείων. Ένα σύστημα SCADA δεν είναι ένα πλήρες σύστημα ελέγχου αλλά πραγματοποιεί κυρίως εποπτεία του δικτύου και του συστήματος. Οι διαδικασίες που επιτελεί ένα σύστημα SCADA είναι η συλλογή των πληροφοριών, η αποστολή τους σε ένα κεντρικό σημείο επεξεργασίας, η εκτέλεση της απαραίτητης ανάλυσης και ελέγχου και, τέλος, η παρουσίαση της πληροφορίας σε οθόνες χειρισμού και εποπτείας, σε πραγματικό χρόνο ή κατ' απαίτηση. Ο έλεγχος μπορεί να είναι αυτόματος ή να ενεργοποιείται με εντολή του χειριστή.

Ένα σύστημα SCADA επιτρέπει στους χειριστές του να παρατηρούν και να ελέγχουν διαδικασίες με μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση, από μια κεντρική τοποθεσία. Τα πλεονεκτήματα ενός SCADA γίνονται περισσότερο αισθητά όταν μια διαδικασία ή ένα σύστημα καλύπτει μια μεγάλη γεωγραφική έκταση. Αντί να αποστέλλεται προσωπικό σε διάφορα σημεία για μετρήσεις και ρυθμίσεις, η εποπτεία και ο έλεγχος του συστήματος μπορούν να πραγματοποιηθούν από απόσταση, και, κυρίως, με μεγάλες ταχύτητες απόκρισης.

Από άποψη υλικοτεχνικής υποδομής εκτός από το λογισμικό εποπτείας και ελέγχου, ένα σύστημα SCADA περιλαμβάνει ένα σύνολο αισθητήρων και διατάξεων μετατροπής, που είναι συνδεδεμένοι σε

απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (Remote Terminal Units – RTUs). Οι RTUs επικοινωνούν μέσω κάποιας τηλεπικοινωνιακής υποδομής με ένα κεντρικό υπολογιστικό σταθμό όπου είναι εγκατεστημένο και το σύστημα ελέγχου του SCADA.



Εικόνα 2.5: Κέντρο Ελέγχου Συστήματος SCADA





Εικόνα 2.6: RTU εγκατάσταση

- SCADA για το Σύστημα Μεταφοράς

Έχοντας δυνατότητα ελέγχου από απόσταση τα συστήματα SCADA ουσιαστικά είναι υπεύθυνα για τη σύνδεση όλων των στοιχείων του συστήματος μεταφοράς. Ελέγχουν τους υποσταθμούς μεταφοράς καθώς και τις μονάδες παραγωγής κατά τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια του συστήματος. Ο κεντρικός έλεγχος αφορά τις γεννήτριες στις μονάδες παραγωγής ενώ ο τοπικός σχετίζεται με τους τοπικούς ελεγκτές που είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο της τάσης και της ροής ισχύος.

Όπως και το σύνολο των ευρωπαϊκών συστημάτων, το παραδοσιακό ελληνικό σύστημα μεταφοράς, αντιμετωπίζει μια σειρά προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του. Η μεγάλη διεύθυνση διεσπαρμένης παραγωγής και η διακοπτόμενη λειτουργία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας λόγω της εξάρτησης τους από τις κλιματικές συνθήκες προκαλούν μεγάλες αποκλίσεις στη δυνατότητα παραγωγής και απειλούν τη σταθερότητα του συστήματος. Είναι απαραίτητη η εποπτεία και η δυνατότητα ελέγχου του συνόλου του συστήματος καθώς και η επέμβαση σε πραγματικό χρόνο (real time) και όχι σε σχεδόν πραγματικό χρόνο (near real time) όπως γίνεται σήμερα, προκειμένου να αποφευχθούν καταστροφικές διακοπές στην παραγωγή και σημαντικές πτώσεις τάσης στις γραμμές μεταφοράς.

- SCADA για το Δίκτυο Διανομής

Παραδοσιακά, το δίκτυο διανομής είναι παθητικό με περιορισμένη δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του. Κάποια στοιχεία αυτοματισμού χρησιμοποιούνται όπως οι ΣΑΤΥΦ (onload tap changers) και οι στατοί πυκνωτές (shunt capacitors) για τον έλεγχο της τάσης ή οι αυτόματοι διακόπτες για τη διαχείριση των σφαλμάτων. Όμως, η εποπτεία και ο έλεγχος

αυτός προς το παρόν λειτουργεί μόνο σε τοπικό επίπεδο και δεν υπάρχει δυνατότητα ευρείας εποπτείας (wide area monitoring). Μέχρι τώρα, ήταν απαραίτητη η συνεχής επέμβαση των διαχειριστών του συστήματος σε καταστάσεις κινδύνου με χειροκίνητες διαδικασίες, με αποτέλεσμα να εγκυμονούν σοβαροί κίνδυνοι.

Στη κατάσταση αυτή βρίσκεται το ελληνικό δίκτυο διανομής μέχρι και σήμερα καθώς μόλις τώρα βρίσκεται σε κίνηση το πλάνο για ενδεικτικούς χάρτες GIS αντί για τους ήδη υπάρχοντες χειρογραφικούς. Επίσης, το 2009 λειτούργησε σύστημα τηλεμέτρησης μέσης τάσης που διαχειρίζεται, όμως, μόνο το 23% της διανεμόμενης ενέργειας [19]. Η επικοινωνία γίνεται μέσω GSM/GPRS και αφορά 13.500 καταναλωτές/παραγωγούς μέσης τάσης. Προς την ίδια κατεύθυνση είναι και η δημιουργία νέων κέντρων ελέγχων διανομής (ΚΕΔΔ) στα οποία παρακολουθείται συνεχώς η κατάσταση λειτουργίας μέρους του δικτύου διανομής και εκτελούνται τηλεχειρισμοί στα σημαντικά του στοιχεία τόσο εντός των υποσταθμών υποβιβασμού υψηλής προς μέσης τάσης (Υ/Σ 150kV/20-15-6.6kV) όσο και στα δίκτυα μέσης τάσης.

Αν και τα ανωτέρω βήματα αλλάζουν την εικόνα του δικτύου, παραμένει η ανάγκη για ελαχιστοποίηση των επιτόπιων μεταβάσεων για καταμέτρηση σε σημεία του δικτύου που δεν εποπτεύονται, για άμεσο εντοπισμό και απομόνωση των βλαβών και βελτίωση του χρόνου ανταπόκρισης σε βλάβες του δικτύου διανομής. Για την ομαλότερη ένταξη της διεσπαρμένης παραγωγής καθώς και της νέας τεχνολογίας των ηλεκτροκίνητων οχημάτων, τεχνολογίας που επηρεάζει άμεσα την ποιότητα τάσης του δικτύου, η διατήρηση της αξιοπιστίας και της ασφάλειας του δικτύου είναι σημαντικότερη από ποτέ.

- SCADA για τη Χαμηλή Τάση

Στη χαμηλή τάση μέχρι σήμερα δεν υπάρχει η παραμικρή εποπτεία για μεγάλους ή μικρούς πελάτες. Το δεύτερο εξάμηνο του 2013 άρχισε η υλοποίηση του προγράμματος τηλεμέτρησης μεγάλων πελατών χαμηλής τάσης που περιλαμβάνει την κατασκευή του κύριου και του εφεδρικού Κέντρου Τηλεμέτρησης στις εγκαταστάσεις του ΔΕΔΔΗΕ, 60.000 μετρητές παροχών 85 kVA, 135 kVA και 250 kVA και 5.000 μετρητές παροχών 35 kVA και 55 kVA (επικοινωνία μέσω GSM/GPRS) [20]. Το πρόγραμμα αυτό θα παρουσιαστεί λεπτομερώς στη συνέχεια. Η εγκατάσταση εποπτείας και ελέγχου στο σύνολο του δικτύου χαμηλής τάσης είναι πολύ σημαντική τόσο για τους παρόχους όσο και για τους καταναλωτές. Στόχος του διαχειριστή του δικτύου είναι ένα πλήρες διασυνδεδεμένο δίκτυο μεταξύ καταναλωτών και παρόχων ηλεκτρικής ενέργειας με αμφίδρομη επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο. Η εισαγωγή εποπτείας και ελέγχου στο δίκτυο χαμηλής τάσης είναι επιτακτική ανάγκη αν ληφθούν υπόψη ότι:

- Ο οικιακός τομέας είναι ο πλέον ενεργοβόρος στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας [21]
- Η απελευθέρωση της αγοράς προσφέρει στον καταναλωτή τη δυνατότητα να διαλέγει πάροχο και να προγραμματίζει την καθημερινή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τις προσφορές που λαμβάνει.
- Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα αποκτήσουν σημαντικό ποσοστό στην καθημερινή μας μετακίνηση.

## 2.4 Προβλήματα Ηλεκτρομηχανικού Εξοπλισμού

Στις περισσότερες χώρες, η ανάπτυξη των ΣΗΕ ξεκίνησε τη δεκαετία του '50. Ένα μεγάλο ποσοστό του εξοπλισμού που εγκαταστάθηκε τότε και σχετίζεται με τις γραμμές μεταφοράς, τους υποσταθμούς και τους μετασχηματιστές έχει υπερβεί το χρόνο ζωής του και χρειάζεται αλλαγή. Σε σημαντικό μέρος του συστήματος μεταφοράς, σε αντίθεση με το δίκτυο διανομής, έχουν γίνει επενδύσεις προς τον εκσυγχρονισμό του εξοπλισμού. Όμως, αυτό που κυρίως απαιτείται είναι η αξιοποίηση του συστήματος μεταφοράς με σύγχρονες τεχνικές και ευφυείς μεθόδους [15].

### Προβλήματα γήρανσης εξοπλισμού

- Κόστος αντικατάστασης

Το κόστος που απαιτείται για αντικατάσταση του εξοπλισμού παλαιάς τεχνολογίας με ίδια μοντέλα (like-for-like replacement) είναι πολύ υψηλό και είναι αμφίβολο αν τα ανταλλακτικά επαρκούν και αν το εξειδικευμένο προσωπικό θα είναι διαθέσιμο λόγω συνταξιοδοτήσεων.

- Δυσκολία στη διασύνδεση με ΑΠΕ

Σε πολλές χώρες τα συστήματα εναέριων γραμμών μεταφοράς που χρειάζονται για να υποστηρίξουν τη διασύνδεση με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εμφανίζουν σημαντικές καθυστερήσεις στην ανάπτυξή τους λόγω των δυσκολιών στην απόκτηση δικαιωμάτων και περιβαλλοντικών αδειών.

- Περιορισμοί ισχύος

Ορισμένες γραμμές μεταφοράς λειτουργούν κοντά στα όρια μεταφοράς ισχύος, με αποτέλεσμα να μη μπορούν να υποστηρίξουν την αύξηση του φορτίου ή τη σύνδεση με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

### Θερμικοί περιορισμοί

Οι θερμικοί περιορισμοί των γραμμών και του εξοπλισμού του υπάρχοντος Συστήματος Μεταφοράς και των δικτύων διανομής θέτουν ένα ανώτατο όριο στην ικανότητα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν ο εξοπλισμός μεταφέρει ρεύμα που υπερβαίνει τις θερμικές του αντοχές, προκαλείται υπερθέρμανση και η μόνωση καταστρέφεται ταχέως. Αυτό οδηγεί στη μείωση του χρόνου ζωής του εξοπλισμού του δικτύου και την αύξηση βλαβών και σφαλμάτων. Όταν σε μια εναέρια γραμμή μεταφοράς διέλθει ισχυρότερο ρεύμα από το προδιαγραφόμενο, οι αγωγοί επιμηκύνονται λόγω θερμικής διαστολής, η χαλάρωση της γραμμής αυξάνεται, και η απόσταση από έδαφος μειώνεται. Οποιαδήποτε μείωση στην απόσταση μεταξύ μιας εναέριας γραμμής και του εδάφους έχει σημαντικές συνέπειες τόσο στην αύξηση του πλήθους βλαβών όσο και στον κίνδυνο για τη δημόσια ασφάλεια. Οι θερμικοί περιορισμοί εξαρτώνται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες που, με τη σειρά τους, μεταβάλλονται δυναμικά.

### Λειτουργικοί περιορισμοί

Κάθε ΣΗΕ λειτουργεί μέσα σε προκαθορισμένα όρια τάσης και συχνότητας. Αν η τάση υπερβεί το ανώτατο όριο, η μόνωση του εξοπλισμού του ΣΗΕ αλλά και των καταναλωτών μπορεί να καταστραφεί, προκαλώντας τοπικά σφάλματα. Αντίθετα, η πολύ μικρή τάση μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία στον εξοπλισμό των καταναλωτών καθώς αυξάνεται το ρεύμα και προκαλείται υπερφόρτωση ορισμένων γραμμών και γεννητριών.

Ως προς το ελληνικό σύστημα μεταφοράς πρέπει να σημειωθεί ότι έχουν ήδη γίνει σημαντικές επενδύσεις που αφορούν [22]:

- Το δίκτυο υπερυψηλής τάσης που αποτελείται από τις τρεις εναέριες γραμμές διπλού κυκλώματος των 400kV
- Τις διεθνείς διασυνδέσεις με τις γειτονικές χώρες
- Το σχεδιασμό εγκατάστασης σύγχρονων κέντρων υπερυψηλής τάσης “κλειστού τύπου” (όπως το ήδη ολοκληρωμένο κέντρο Αλιβερίου)
- Τη διαγωνιστική διαδικασία του έργου διασύνδεσης των Κυκλάδων με το σύστημα μεταφοράς

Το ότι ο ηλεκτρομηχανικός εξοπλισμός των ΣΗΕ βρίσκεται σε διαδικασία ανανέωσης ή αναβάθμισης προσφέρει την ευκαιρία για αντικατάσταση μέρους του εξοπλισμού με εγκαταστάσεις ισχύος που ενσωματώνουν ηλεκτρονικά-ψηφιακά συστήματα ελέγχου και τεχνολογίες επικοινωνίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα σύγχρονου εξοπλισμού είναι τα ευέλικτα συστήματα μεταφοράς (FACTS), που αποτελούνται από συσκευές με ηλεκτρονικά ισχύος (π.χ. θυρίστορ GTO, τρανζίστορ IGBT) και παρέχουν τη δυνατότητα ελέγχου πολλών παραμέτρων ευστάθειας, καθιστώντας αποδοτικότερη τη χρήση των υπαρχόντων πόρων των ΣΗΕ.

Τα ανωτέρω οδηγούν στην εφαρμογή ευφυών μεθόδων, αφενός για την αύξηση της ικανότητας μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κατά δυναμικό τρόπο, και αφετέρου για την ανακατεύθυνση της ροής ισχύος μέσα από λιγότερο φορτωμένα δίκτυα

## 2.5 Αξιοπιστία Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τις τελευταίες δυο δεκαετίες, σε πολλές χώρες του κόσμου εφαρμόζονται νομοθετικά πλαίσια με ιδιαίτερη μέριμνα ως προς την εξασφάλιση επαρκούς στάθμης αξιοπιστίας και ασφαλούς λειτουργίας των ΣΗΕ. Συγκεκριμένα, η Αξιοπιστία Λειτουργίας (Operational Reliability) των ΣΗΕ, όπως έχει καθιερωθεί να αποκαλείται, αναφέρεται στα εξής χαρακτηριστικά [23]:

- Επάρκεια του ΣΗΕ  
 Η ικανότητα του συστήματος να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των πελατών του (σε ισχύ, ενέργεια) λαμβάνοντας υπόψη τις τυχαιές βλάβες και τις προγραμματισμένες διακοπές (συντηρήσεις) του εξοπλισμού του.
- Ασφάλεια του ΣΗΕ

Ικανότητα του συστήματος να παραμένει σε λειτουργία μετά από ξαφνικές διαταραχές που μπορεί να συμβούν (π.χ. βραχυκύκλωμα, απώλεια εξοπλισμού, κλπ.). Πρέπει το σύστημα να μπορεί να ανταποκρίνεται σε οποιαδήποτε φαινόμενα ή ενέργειες που μπορούν να προκαλέσουν τέτοιες διαταραχές (θεομηνίες, ανθρώπινα σφάλματα, κλπ.)

Με τις αλλαγές που υφίστανται τα ΣΗΕ στη δομή και τη λειτουργία τους, εγείρεται σημαντικό ερώτημα ως προς το αν διατηρείται η στάθμη Αξιοπιστίας Λειτουργίας των ΣΗΕ.

Για να εκτιμηθούν τα θέματα αξιοπιστίας που ανακύπτουν στο τρέχον ΣΗΕ, πρέπει να αναγνωριστούν οι κύριες θεσμικές αλλαγές στις οποίες υπόκειται. Το παλαιό μονοπωλιακό καθεστώς διαδέχεται ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον, στο οποίο εμπλέκονται: πολλοί ανεξάρτητοι παραγωγοί, η διαχωρισμένη διαχείριση συστημάτων μεταφοράς και δικτύων διανομής, πολλοί προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας, και περισσότερο απαιτητικοί καταναλωτές.

Η ενίσχυση της παραγωγής τείνει να γίνει εξαρτώμενη από τους νόμους της αγοράς και όχι από ένα κεντρικό σχεδιασμό επάρκειας της παραγόμενης ισχύος. Οι παραγωγοί διαθέτουν εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος αλλά δεν είναι υπεύθυνοι για τη συνολική επάρκεια, ενδιαφέρονται μόνο για την εξυπηρέτηση αναγκών που τους επιφέρουν κέρδος. Επιπλέον, η αύξηση των μονάδων παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και των υπόλοιπων μορφών διασπαρμένης παραγωγής θέτουν με τη σειρά τους σε κίνδυνο την ευστάθεια του συστήματος, άρα και την Αξιοπιστία Λειτουργίας του.

Οι περιορισμοί στην επέκταση των συστημάτων μεταφοράς και των δικτύων διανομής, τόσο λόγω των απαιτούμενων αυξημένων επενδύσεων, όσο και περιβαλλοντικών περιορισμών, επηρεάζουν δυσμενώς την Αξιοπιστία Λειτουργίας του ΣΗΕ.

Οι καταναλωτές από την πλευρά τους αναμένεται να εντείνουν τις πιέσεις τους για χαμηλότερες χρεώσεις και να απαιτούν αυξημένη αξιοπιστία. Οι απαιτήσεις αυτές στο πλαίσιο ενός ανταγωνιστικού περιβάλλοντος οδηγούν τους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας σε προσπάθειες μείωσης του κόστους επενδύσεων και του κόστους λειτουργίας και συντήρησης των δικτύων για να συγκρατήσουν τα επίπεδα των τιμών. Η μη ελεγχόμενη περικοπή όμως των δαπανών αυτών μπορεί να αποβεί σε βάρος της αξιοπιστίας της παρεχόμενης ενέργειας.[24]

Συνοπτικά, οι νέες συνθήκες που επικρατούν στα ΣΗΕ και επηρεάζουν την Αξιοπιστία Λειτουργίας σχετίζονται με τα παρακάτω [24]:

- Αύξηση διεσπαρμένης παραγωγής, κυρίως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Εξασφάλιση παροχής Φυσικού Αερίου στις νέες μονάδες
- Καθορισμός των απαιτήσεων για στρεφόμενη εφεδρεία
- Διασυνδέσεις με ΣΗΕ γειτονικών χωρών
- Πραγματική ικανότητα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος μεταφοράς

- Δυνατότητες επέκτασης συστήματος μεταφοράς
- Περιβαλλοντικοί περιορισμοί
- Πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν σύμφωνα με τους κανόνες τις αγοράς
- Αύξηση της στάθμης αβεβαιότητας για την πρόβλεψη της ζήτησης φορτίου
- Αύξηση των απαιτήσεων των καταναλωτών για αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας
- Αύξηση των απαιτήσεων των καταναλωτών για οικονομική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας

### 2.5.1 Απαίτηση για αλλαγή των αιτιοκρατικών κριτηρίων σχεδιασμού και λειτουργίας

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αξιοπιστίας ενός ΣΗΕ έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές και διατυπωθεί κριτήρια που εφαρμόζονται από τη φάση του σχεδιασμού έως και τη φάση λειτουργίας του συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη τους αντίστοιχους οικονομικούς και λειτουργικούς περιορισμούς που υπάρχουν κατά περίπτωση. Οι νέες συνθήκες λειτουργίας των ΣΗΕ που προαναφέρθηκαν καθώς και τα θεσμικά πλαίσια ανταγωνισμού που θεσπίζονται, καθιστούν άμεση την ανάγκη για αναθεώρηση των κριτηρίων που αφορούν την αξιοπιστία και των επιστημονικών μεθόδων για την εξασφάλιση της. Δύο είναι οι μέθοδοι προσέγγισης των θεμάτων αξιοπιστίας. Η αιτιοκρατική και η πιθανοτική ανάλυση.

#### 1. Αιτιοκρατική Ανάλυση (Deterministic Analysis)

Τα πρώτα κριτήρια που εφαρμόστηκαν σε πραγματικά συστήματα ήταν αιτιοκρατικά καθορισμένα ενώ πολλά από αυτά βρίσκουν εφαρμογή ακόμη και σήμερα. Αφορούν κατά κύριο λόγο τον καθορισμό της στάθμης στρεφόμενης εφεδρείας η οποία απαιτείται για την αντιμετώπιση έκτακτων καταστάσεων απώλειας παραγωγής. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η απαιτούμενη στρεφόμενη εφεδρεία καθορίζεται από ένα συγκεκριμένο ποσοστό του φορτίου ή από την απώλεια της μονάδας με τη μεγαλύτερη παραγωγή. Γενικότερα, σε μια αιτιοκρατική διαδικασία ανάλυσης, η απόδοση του εκάστοτε υπό εξέταση συστήματος υπολογίζεται για αρκετά διαφορετικά σενάρια που αντιπροσωπεύουν διαφορετικές λειτουργικές συνθήκες που θεωρούνται κρίσιμες και παρουσιάζουν συγκεκριμένη πιθανότητα εμφάνισης.

Η κύρια αδυναμία των αιτιοκρατικών κριτηρίων εντοπίζεται στο γεγονός ότι δεν ανταποκρίνονται ούτε απεικονίζουν την πιθανοτική συμπεριφορά του συστήματος, της ζήτησης φορτίου ή των βλαβών των στοιχείων του συστήματος. Η αιτιοκρατική ανάλυση αναγνωρίζει την έκβαση των κρίσιμων καταστάσεων ή των καταστάσεων κινδύνου στις οποίες μπορεί να εκτεθεί το σύστημα, διαβαθμίζοντας παράλληλα τις καταστάσεις αυτές ανάλογα με τη σοβαρότητά τους. Μία τέτοια κατάσταση κινδύνου, όμως, όσο ανεπιθύμητη και αν είναι, έχει πρακτικά μικρές συνέπειες αν η πιθανότητα να συμβεί είναι πολύ μικρή, με αποτέλεσμα να μπορεί να αμεληθεί. Ο σχεδιασμός των συστημάτων που στηρίζονται σε τέτοιες μελέτες κινδύνου μπορεί να οδηγήσει σε υπερδιστασιολόγηση του συστήματος. Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση κατά την οποία ο σχεδιασμός του συστήματος βασίζεται σε μια αιτιοκρατική ανάλυση στην οποία οι καταστάσεις κινδύνου που μελετώνται παρουσιάζουν μεγάλη πιθανότητα να συμβούν

αλλά δεν έχουν σημαντικές επιπτώσεις, το επίπεδο ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος θα περιορίζεται σε χαμηλά επίπεδα.

Συνοπτικά, η αιτιοκρατική ανάλυση για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας ενός ΣΗΕ θεωρείται παρωχημένη λόγω των ακόλουθων χαρακτηριστικών:[23]

- Έχει στατικό χαρακτήρα (ικανοποίηση ή μη ικανοποίηση κάποιου κριτηρίου)
- Δεν λαμβάνεται υπόψη ότι οι βλάβες των στοιχείων του συστήματος μπορούν να συμβούν με διαφορετικές τιμές συχνότητας και έχουν διαφορετικές επιπτώσεις
- Δεν λαμβάνεται υπόψη η μεταβολή της ζήτησης φορτίου κατά τη διάρκεια του έτους
- Δεν υπολογίζονται δείκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελέτες αξιολόγησης εναλλακτικών σχεδιασμών.

## 2. Πιθανοτική Ανάλυση (Probabilistic Analysis)

Η ανάγκη για την πιθανοτική εκτίμηση της συμπεριφοράς ενός συστήματος έχει προκύψει αρκετές δεκαετίες πριν. Ωστόσο, η έλλειψη δεδομένων, οι περιορισμένες δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, η άγνοια της σημασίας των αποτελεσμάτων που προέκυπταν, ακόμα και η αποστροφή απέναντι στη χρήση πιθανοτικών τεχνικών αποτελούν τους σημαντικότερους λόγους για τους οποίους τέτοιες μέθοδοι δεν χρησιμοποιήθηκαν ευρέως στο παρελθόν. Τα προβλήματα αυτά σήμερα έχουν επιλυθεί με αποτέλεσμα οι περισσότεροι σχεδιαστές να έχουν γνώση τέτοιων μεθόδων και να τις χρησιμοποιούν σε ευρεία κλίμακα. Οι μέθοδοι αυτές αναφέρονται κυρίως στην εκτίμηση της αξιοπιστίας του συστήματος και στην πρόβλεψη του φορτίου, ενώ γενικότερα καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα των θεμάτων που σχετίζονται με τα ΣΗΕ, όπως είναι η ανάλυση των ροών φορτίου, των βραχυκυκλωμάτων κτλ. Η βασική αρχή των μεθόδων πιθανοτικής ανάλυσης είναι ότι τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συμπεριφέρονται στοχαστικά και οι καταστάσεις στις οποίες βρίσκονται περιγράφονται κατά στατιστικό τρόπο. Οι πιθανοτικές τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί όχι μόνο αναγνωρίζουν τη σοβαρότητα μιας κατάστασης και την επίδραση της στη λειτουργία του συστήματος, αλλά υπολογίζουν και τη πιθανότητα εμφάνισής της. Παράλληλα, με κατάλληλο συνδυασμό μεγεθών που σχετίζονται με την διάρκεια, την συχνότητα και το σημείο εμφάνισης των σφαλμάτων προκύπτουν δείκτες οι οποίοι απεικονίζουν κατά στατιστικό τρόπο την κατάσταση κινδύνου στην οποία είναι δυνατό να ευρεθεί το σύστημα. Οι βασικότεροι από αυτούς τους δείκτες είναι:

- Δείκτης Μέσης Διάρκειας Διακοπών του πελάτη ώρες/έτος (Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI))
- Δείκτης Μέσης Διάρκειας Διακοπών του συστήματος ώρες/έτος (System Average Interruption Duration Index (SAIDI))
- Δείκτης Συχνότητας Διακοπών του πελάτη σε γεγονότα/έτος (Customer Average Interruption Frequency Index (CAIFI))



- Δείκτης Συχνότητας Διακοπών του συστήματος σε γεγονότα/έτος (System Average Interruption Frequency Index (SAIFI))
- Δείκτης διαθεσιμότητας ισχύος του συστήματος σε ώρες/έτος (Average Service Availability Index (ASAI))

Οι νέες συνθήκες που επικρατούν στην ανάπτυξη και τη λειτουργία των σύγχρονων ΣΗΕ οδήγησαν στην επικράτηση της πιθανοτικής ανάλυσης και την υιοθέτηση των αντίστοιχων κριτηρίων για την εξασφάλιση της αξιόπιστης λειτουργίας τους.

## 2.6 Ανελαστική Τιμολόγηση

Σήμερα, η τιμολόγηση του ηλεκτρισμού γίνεται με βάση την κατανάλωση (κλιμακωτή χρέωση) χωρίς να διαχωρίζεται η ώρα της κατανάλωσης τόσο στη χαμηλή τάση όσο και τη μεσαία. Δεν λαμβάνεται, δηλαδή, υπόψη ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της ηλεκτρικής ενέργειας που είναι η στιγμιαία ισχύς του φορτίου του καταναλωτή. Η παραμικρή αύξηση των αιχμών του φορτίου ενός δικτύου επιφέρει αυξημένα κόστη στη πλευρά της προσφοράς ενέργειας, τα οποία περνούν στους καταναλωτές. Η επιβάρυνση των καταναλωτών είναι δυσανάλογη, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το πότε γίνεται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Εξάιρεση αποτελεί ο διαχωρισμός σε ημερήσιο και νυχτερινό τιμολόγιο. Συνεπώς, δεν υπάρχει η δυνατότητα ευέλικτης και δυναμικής τιμολόγησης προσαρμοσμένης κατά περίπτωση στις ανάγκες της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και των καταναλωτών της. Χωρίς τη δυνατότητα ευέλικτης και δυναμικής τιμολόγησης δεν μπορεί να υπάρξει κινητροδότηση προς τους χρήστες για αλλαγή της συμπεριφοράς κατανάλωσης της. Ως εκ τούτου, καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολη η εφαρμογή πολιτικών διαχείρισης φορτίου (load management) και εξοικονόμησης ενέργειας (energy efficiency) από τους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας όπως:

- η μετατόπιση φορτίου εκτός των ωρών αιχμής (load shifting)
- η εξομάλυνση των αιχμών του φορτίου (peak shaving)
- η απόκριση της ζήτησης (D-R).

Επιπλέον, ο σημερινός τρόπος καταγραφής των μετρήσεων κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας δεν εξαλείφει το ενδεχόμενο σημαντικών αποκλίσεων από την πραγματική κατανάλωση είτε λόγω μη ορθής λειτουργίας του αναλογικού μετρητή είτε λόγω ανθρώπινου λάθους στην καταγραφή των ενδείξεων. Επιπλέον, σημαντικές αποκλίσεις ενδέχεται να εμφανίζονται και στους προκαταβολικούς λογαριασμούς οι οποίοι δεν υπολογίζονται βάσει της πραγματικής κατανάλωσης αλλά κατόπιν στατιστικής επεξεργασίας των προηγούμενων εκκαθαριστικών λογαριασμών.

Στην αντιμετώπιση των ανωτέρω προβλημάτων θα συμβάλει αποφασιστικά η εγκατάσταση των έξυπνων μετρητών. Με τα νέα μετρητικά συστήματα, η καταγραφή και συλλογή των δεδομένων γίνεται ακριβέστερη, ασφαλέστερη και αυτοματοποιημένη, με άμεσο αντίκτυπο στην αμεσότητα, την ακρίβεια και την ευελιξία της τιμολόγησης, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.



### 3.Μελλοντικές προκλήσεις και ενεργειακές πολιτικές

#### 3.1 Κλιματική αλλαγή και προκλήσεις περιορισμού των αερίων του θερμοκηπίου: το Πρωτόκολλο Κιότο

Η ανθρώπινη δραστηριότητα συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή μέσω των αλλαγών που προκαλεί στην ατμόσφαιρα της γης, και συγκεκριμένα στις ποσότητες των αερίων του θερμοκηπίου και των αερολυμάτων (aerosols). Η καύση στερεών καυσίμων, η οποία απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα, αποτελεί τον πιο σημαντικό επιβαρυντικό παράγοντα. Τα αέρια του θερμοκηπίου και τα αερολύματα επηρεάζουν το κλίμα τροποποιώντας την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και την εξερχόμενη θερμική ακτινοβολία, οι οποίες είναι μέρος του ενεργειακού ισοζυγίου της γης. Η μεταβολή της ποσότητας ή των ιδιοτήτων αυτών των αερίων και σωματιδίων μπορεί να οδηγήσει σε μια θέρμανση ή ψύξη του κλιματικού συστήματος. Η σταθεροποίηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα απαιτεί τη μείωση των εκπομπών αυτού σε επίπεδο αρκετά χαμηλότερο από αυτό που εκπέμπεται σήμερα.

Τα κράτη μέλη της διεθνούς κοινότητας για να αντιμετωπίσουν το παραπάνω φαινόμενο έφθασαν στην υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Κιότο, που προβλέπει μια σειρά από μέτρα που πρέπει να ληφθούν για την αντιμετώπιση της παγκόσμιας απειλής της κλιματικής αλλαγής. Η ΕΕ με τη σειρά της, έχοντας θέσει την προστασία του κλίματος ως πρωταρχικό της στόχο, στα πλαίσια μίας κλιμακούμενης ανάπτυξης και προόδου και δεσμευμένη από το Πρωτόκολλο του Κιότο, έλαβε μια σειρά από πολιτικά και νομικά μέτρα με σημαντικότερο από αυτά τη δημιουργία του Ευρωπαϊκού Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου.

Συγκεκριμένα η παγκόσμια κοινότητα δεσμεύτηκε να σταθεροποιήσει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> στα επίπεδα του 1990 και μέσω του Πρωτοκόλλου του Κιότο να μειώσει τις εκπομπές αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 5,2% έως την περίοδο 2008-2012 σε σχέση με τις εκπομπές του 1990. Αντίστοιχα η ΕΕ όφειλε να μειώσει τις εκπομπές ρύπων κατά 8% σε σχέση με τα επίπεδα του έτους βάσης.

Ως προς την εξέλιξη των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τους στόχους του Πρωτοκόλλου του Κιότο, αξίζει να σημειωθεί ότι τα περισσότερα κράτη-μέλη της ΕΕ-15 βρίσκονται εντός του στόχου που έχει τεθεί για καθένα από αυτά. Από τις παλαιές χώρες-μέλη, οκτώ (μεταξύ τους και η Ελλάδα) έχουν ήδη υπερκαλύψει τους στόχους τους βάσει του Κιότο, ενώ επτά απέχουν ακόμη. Για την Ελλάδα, ο στόχος του Πρωτοκόλλου του Κιότο είναι να περιορίσει στο 25% την αύξηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου μεταξύ του έτους βάσης και της περιόδου 2008-2012. Το 2011, το επίπεδο των εκπομπών ήταν μόνο κατά 7,5% υψηλότερο από ό,τι το έτος βάσης (δηλαδή εντός του στόχου), εξέλιξη που εν μέρει αντανακλά και την υποχώρηση της οικονομικής δραστηριότητας, ενώ το 2012 αυξήθηκε βάσει προσωρινών εκτιμήσεων κατά 1,2%, παραμένοντας εντός στόχου.

Στοιχεία 2011							
Χώρες	1990	Πρωτόκολλο Κιότο (έτος βάσης*)	2011	Μεταβολή 2010-2011	Μεταβολή 1990-2011	Μεταβολή έτους βάσης - 2011	Στόχοι Κιότο 2008-2012
	σε εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου CO <sub>2</sub>			εκατοστιαίες μεταβολές			
<b>Ελλάδα</b>	104,6	107	115	-1,9	10	7,5	25
<b>ΕΕ-15</b>	4.254,5	4.265,50	3.630,7	-4,2	-14,70	-14,90	-8

*Εικόνα 3.1: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και στόχοι του Πρωτοκόλλου του Κιότο [25]*

Σχετικά με την προέλευση των εκπομπών αερίων οι δραστηριότητες που έχουν σχέση με την ενέργεια αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή αερίων του θερμοκηπίου, με ποσοστό 79% το 2011 για την ΕΕ-27 (3.614 εκατ. τόνοι ισοδυνάμου CO<sub>2</sub>). Δεύτερη σε σπουδαιότητα πηγή αερίων του θερμοκηπίου, μετά την ενέργεια, είναι η γεωργία με μερίδιο 10% (461 εκατ. τόνοι ισοδυνάμου CO<sub>2</sub>), ενώ ακολουθούν οι βιομηχανικές διεργασίες και τα απόβλητα, με μερίδια 7% και 3% (332 και 133 εκατ. τόνοι ισοδυνάμου CO<sub>2</sub> αντίστοιχα). [25]

Για τον υπολογισμό των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τη βιομηχανία Ηλεκτρικής Ενέργειας βασιζόμαστε σε δύο βασικές προσεγγίσεις:

- Στις άμεσες εκπομπές CO<sub>2</sub> που παράγονται από την χρήση καυσίμων υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Στις έμμεσες εκπομπές CO<sub>2</sub>, που συμπεριλαμβάνουν κάθε προσπάθεια που γίνεται για να λειτουργήσει τελικά ο σταθμός παραγωγής (παρασκευή μηχανημάτων και εγκατάσταση εξοπλισμού). Ακόμα και οι ενέργειες κατεδάφισης, απόσυρσης, ανακύκλωσης κλπ. λαμβάνονται υπόψη, δεδομένου ότι μπορεί να είναι σημαντικές, ειδικά για τις πυρηνικές εγκαταστάσεις.

Το ακριβές ποσό των εκπομπών ενός σταθμού παραγωγής (σε gCO<sub>2</sub>/kWh ΗΕ που αποδίδεται στο δίκτυο) εξαρτάται τελικά από τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται και από το συνολικό βαθμό απόδοσης του σταθμού. Το σημείο λειτουργίας, οι καιρικές συνθήκες και ειδικά η εξωτερική θερμοκρασία καθορίζουν σε ένα μεγάλο βαθμό την απόδοση του σταθμού παραγωγής. Ένα σημαντικό μέρος της απόδοσης εξαρτάται επίσης από τις ενεργειακές ανάγκες του σταθμού για τη λειτουργία του (ιδιοκατανάλωση) και για την επεξεργασία του καυσίμου. Για παράδειγμα, σταθμοί παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούν λιγνίτη ή τύρφη απαιτούν ένα σημαντικό ποσό ενέργειας για να αφαιρεθεί η υγρασία από το καύσιμο.

Στην Εικόνα 3.2 παρουσιάζονται τιμές των εκπομπών ανά kWh οι οποίες προκύπτουν είτε από μετρήσεις είτε από εκτιμήσεις, για διαφορετικά καύσιμα και τεχνολογίες.

Καύσιμο/ Τεχνολογία	Εκπομπές CO <sub>2</sub> (gCO <sub>2</sub> /kWh)
Λιγνίτης	1050
Φυσικό Αέριο (Ανοικτού Κύκλου)	443
Αργό Πετρέλαιο	778

*Εικόνα 3.2: Εκπομπές CO<sub>2</sub> για σταθμούς παραγωγής διαφορετικών τεχνολογιών και καυσίμων. Οι τιμές ισχύουν για ονομαστική φόρτιση [26]*

### 3.2 Προκλήσεις της Ευρωπαϊκής και εγχώριας ενεργειακής πολιτικής

Χαρακτηριστικό στοιχείο της ενεργειακής πολιτικής παγκοσμίως, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών, αποτελεί η τάση συρρίκνωσης των εθνικών πολιτικών. Η βαθμιαία απελευθέρωση και ευρύτερη ενοποίηση περιφερειακών και εθνικών αγορών ενέργειας είναι στόχοι που βρίσκουν κοινή αποδοχή ενώ ταυτόχρονα επιβάλλουν κοινούς κανόνες λειτουργίας.

Αντίστοιχο είναι το πλαίσιο διαμόρφωσης της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Πολιτικής, όπου οι βασικοί άξονες αποσκοπούν στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού, στο μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και στην εξασφάλιση της ανταγωνιστικότητας.

Κύρια κατεύθυνση της νέας Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Στρατηγικής, όπως διαμορφώνεται σήμερα, είναι ο «εξευρωπαϊσμός» και η ενοποίηση της ενεργειακής πολιτικής μέσω της αντιμετώπισης σημαντικών προκλήσεων, όπως :

- Η Ενεργειακή Ασφάλεια  
Οι εισαγωγές της Ε.Ε. αυξάνονται σταθερά, ενώ η παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου μειώνεται συνεχώς.
- Η Κλιματική αλλαγή  
Οι χαμηλών εκπομπών άνθρακα ενεργειακές πηγές και τεχνολογίες εξελίσσονται με αργό ρυθμό.
- Οι Τιμές ενέργειας  
Οι τιμές ενέργειας παρουσιάζουν διακυμάνσεις και επηρεάζονται από την οικονομική αβεβαιότητα, τις τεχνολογικές εξελίξεις και την πολιτική αστάθεια.
- Οι Διεθνείς εξελίξεις  
Οι αναπτυσσόμενες χώρες απορροφούν όλο και μεγαλύτερο ποσοστό των παγκόσμιων αποθεμάτων σε ορυκτά καύσιμα.

αλλά και δύο νέων συνιστωσών που αφορούν τις:

- **Οικονομικές Εξελίξεις**  
Η χρηματοοικονομική κρίση και τα προβλήματα των ευρωπαϊκών οικονομιών θέτουν σε κίνδυνο νέες επενδύσεις και τεχνολογικές αγορές, όπου και θα πρέπει να παρακολουθούνται οι επιπτώσεις ώστε να λαμβάνονται έγκαιρα διορθωτικά/αντισταθμιστικά μέτρα.
- **Επενδύσεις σε Υποδομές** Οι ανάγκες σε νέα δίκτυα, ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου, που απαιτούν τεράστιες επενδύσεις με κρίσιμο το ερώτημα ποιος αναλαμβάνει το κόστος για αυτές.

Οι προκλήσεις για την Ελληνική ενεργειακή πολιτική συνάδουν σε πολύ μεγάλο βαθμό με εκείνες της Ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής, με τους παρακάτω τομείς να παρουσιάζουν εγχώριες ιδιαιτερότητες:

- ασφάλεια ενεργειακού ανεφοδιασμού
- εξοικονόμηση ενέργειας στην τελική χρήση
- βιώσιμη ανάπτυξη
- λειτουργία της εσωτερικής αγοράς ενέργειας

### 3.3 Ευρωπαϊκή πολιτική “20-20-20”

Επίκεντρο της νέας Ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής και κύριος στρατηγικός ενεργειακός στόχος είναι η δέσμευση ότι η ΕΕ θα πρέπει να μειώσει τις εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου κατά 20% μέχρι το 2020, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Ο στρατηγικός στόχος και τα συγκεκριμένα μέτρα για την υλοποίησή του, που περιγράφονται στο Σχέδιο Δράσης, αποτελούν και τον πυρήνα της νέας ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής.

Τα δέκα μέτρα που Ευρωπαϊκού Σχεδίου Δράσης για την Ενέργεια [26] είναι τα εξής:

- Καλύτερη λειτουργία της Εσωτερικής Αγοράς Ενέργειας
- Διευκόλυνση των κρατών-μελών για ανάπτυξη αλληλεγγύης στην περίπτωση ενεργειακών κρίσεων ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής τροφοδοσία με πετρέλαιο, φυσικό αέριο και ηλεκτρική ενέργεια.
- Βελτίωση του Κοινοτικού Μηχανισμού Εμπορίας Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου ώστε να μετατραπεί σε πραγματικό καταλύτη για τη μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> και τις επενδύσεις για καθαρή ενέργεια.
- Ανάπτυξη προγράμματος εξοικονόμησης ενέργειας σε Ευρωπαϊκό, εθνικό και διεθνές επίπεδο
- Αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

- Ανάπτυξη Στρατηγικής για την Ενεργειακή Τεχνολογία
- Ανάπτυξη τεχνολογιών μετατροπής ορυκτών καυσίμων με χαμηλές εκπομπές CO<sub>2</sub>
- Ανάπτυξη θεμάτων ασφάλειας και προστασίας από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας.
- Συμφωνία για μια διεθνή ενεργειακή πολιτική με κοινούς στόχους όπου θα ακολουθήσουν όλα τα κράτη μέλη
- Βελτίωση της κατανόησης των ενεργειακών θεμάτων από τους Ευρωπαίους πολίτες-καταναλωτές

Ειδικότερα, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ήδη θεσπίσει δεσμευτικό πακέτο μέτρων και στόχων για το 2020 (Climate and Energy Package-CEP), στο οποίο περιλαμβάνεται ο μηχανισμός της εμπορίας αδειών εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα (ETS) από υπόχρεες εγκαταστάσεις (ηλεκτροπαραγωγή, μεγάλες βιομηχανίες και από το 2012 αεροπορικές μεταφορές), οι στόχοι κατά Κράτος Μέλος για μείωση των εκπομπών στους τομείς εκτός ETS καθώς και οι στόχοι για αύξηση του μεριδίου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που έχουν εξειδικευθεί κατά Κράτος Μέλος.

Για το σύνολο των Κρατών-Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το 2020, προβλέπεται:

- 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 σύμφωνα με την Οδηγία 2009/29/EK
- 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/EK και
- 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

Τα παραπάνω αποτελούν τον ευρωπαϊκό στόχο “20-20-20” μέχρι το 2020.

### 3.3.1 Εθνικός ενεργειακός σχεδιασμός “20-20-20”

Η εξέλιξη του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος τις επόμενες δεκαετίες, θα έχει ως βασικούς άξονες κατεύθυνσης την ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού, τη διασφάλιση της καλής λειτουργίας της εσωτερικής αγοράς ενέργειας, τη βέλτιστη αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας, την προώθηση των τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, την ταχεία υιοθέτηση τεχνολογικών εφαρμογών που συνεισφέρουν στην εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και στη διαχείριση της

ζήτησής της, καθώς και την επίτευξη δραστηκής μείωσης των εκπομπών αέριων ρύπων του θερμοκηπίου από τις ανθρωπογενείς καταναλώσεις ενέργειας.

Στο πλαίσιο αυτό, το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που παρουσιάστηκε το καλοκαίρι του 2010 και έχει ως στόχο την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων για τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση, θέτει συνολικά και τις βάσεις και την πορεία εξέλιξης του ενεργειακού τομέα μέχρι το 2020 [27].

Οι κεντρικοί εθνικοί ενεργειακοί στόχοι προβλέπουν:

- 20% μείωση στις εκπομπές CO<sub>2</sub>
- βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και επίτευξη εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας κατά 20% (Οδηγία 2009/28/ΕΚ)
- 18% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση. Ειδικά για την Ελλάδα, ο στόχος για τις εκπομπές αέριων ρύπων του θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός εμπορίας σε σχέση με τα επίπεδα του 2005. Η Ελληνική κυβέρνηση στο πλαίσιο υιοθέτησης συγκεκριμένων αναπτυξιακών και περιβαλλοντικών πολιτικών, με το Ν. 3851/2010 προχώρησε στην αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20%. Συγκεκριμένα ο στόχος αυτός εξειδικεύεται σε 40% συμμετοχή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή, 20% σε θέρμανση και ψύξη και 10% στις μεταφορές.

Για την επίτευξη των ανωτέρω στόχων που αφορούν στο ποσοστό διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή, απαιτείται η συνδυαστική εφαρμογή σημαντικών μέτρων που σχετίζονται κυρίως με την επέκταση και αναβάθμιση του ηλεκτρικού δικτύου μεταφοράς, την ανάπτυξη της διεσπαρμένης παραγωγής και την ανάπτυξη μεγάλων έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Αντίστοιχα, για την επίτευξη της συμμετοχής Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε θέρμανση, ψύξη και μεταφορές χρειάζεται η εφαρμογή των θεσμικών αλλαγών που δρομολογούνται ή έχουν ήδη υλοποιηθεί, για την επίτευξη εξοικονόμησης Ηλεκτρικής Ενέργειας μέσω ενεργειακής αποδοτικότητας και ορθολογικής χρήσης της Ενέργειας σε όλους τους τομείς κατανάλωσης.

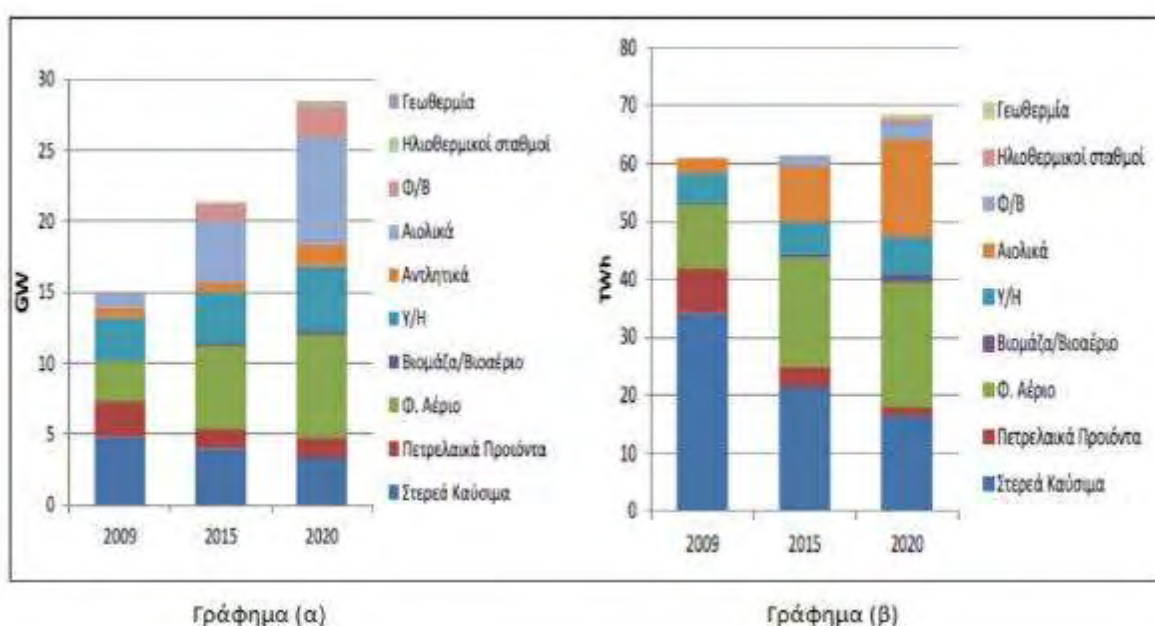
Σύμφωνα με τον ΥΠΕΚΑ, η μελέτη του οδικού χάρτη ανάπτυξης των τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ενεργειακών μοντέλων ανάλυσης. Τα σενάρια που μελετήθηκαν χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες [21].

- Σενάρια αναφοράς, όπου γίνεται η υπόθεση ότι το ενεργειακό σύστημα εξελίσσεται με βάση τις ήδη δρομολογημένες πολιτικές και
- σενάρια όπου θεωρήθηκε η επιτυχής υλοποίηση των στόχων της Ευρωπαϊκής Πολιτικής για την Ελλάδα και στα οποία προσδιορίστηκαν και αξιολογήθηκαν τα εναλλακτικά μέτρα ενεργειακής πολιτικής με τα οποία μπορούν να επιτευχθούν οι Εθνικοί-Ευρωπαϊκοί στόχοι.



Βασικές παράμετροι που έλαβε υπόψιν η μελέτη του ΥΠΕΚΑ για τον εθνικό ενεργειακό σχεδιασμό είναι η εξέλιξη της οικονομικής δραστηριότητας στη χώρα, η εξέλιξη των διεθνών τιμών καυσίμων, τα εναλλακτικά επίπεδα χρήσης των συμβατικών καυσίμων, η επίδραση των τιμών των τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη διείσδυσή τους, η επίδραση των διασυνδέσεων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και της ανάπτυξης του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Έτσι, οι εθνικοί στόχοι για το 2020, σε πρώτη εκτίμηση αναμένεται να ικανοποιηθούν για τη μεν ηλεκτροπαραγωγή με την ανάπτυξη περίπου 13,3GW από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (από 4,2GW σήμερα), όπου συμμετέχει το σύνολο των τεχνολογιών με προεξέχουσες σε επίπεδο εγκατεστημένης ισχύος τα αιολικά πάρα με 7,5GW, τα υδροηλεκτρικά με 3GW και τα φωτοβολταϊκά με περίπου 2,5GW. Αξιοσημείωτη είναι ωστόσο και η σταδιακή εμφάνιση νέων τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο μείγμα της ηλεκτροπαραγωγής (γεωθερμία, ηλιοθερμικοί σταθμοί), οι οποίες αναμένεται σε μακροπρόθεσμο επίπεδο να έχουν ολοένα και πιο μεγάλο μερίδιο συμμετοχής.



Εικόνα 3.3: Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος ανά καύσιμο για επίτευξη των εθνικών στόχων ως το 2020 Γράφημα (α), εξέλιξη της παραγωγής ΗΕ ανά καύσιμο για την επίτευξη των εθνικών στόχων έως το 2020 Γράφημα (β) [21]

### 3.4 Οι κατευθύνσεις του ευρωπαϊκού οδικού χάρτη ανάπτυξης για το 2050

Στις 15 Δεκεμβρίου 2011, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε τον Οδικό Χάρτη για την Ενέργεια με ορίζοντα το 2050, με τον οποίο δεσμεύεται να μειώσει έως το 2050 τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά περισσότερο από 80% (80% - 95%) σε σχέση με τα επίπεδα εκπομπών του 1990, μέσω της απανθρακοποίησης του ενεργειακού τομέα, με ταυτόχρονη εξασφάλιση του ενεργειακού

εφοδιασμού και της ανταγωνιστικότητας της Ευρωπαϊκής Οικονομίας. Βασικά εργαλεία για την επίτευξη αυτού του στόχου καθίστανται οι ΑΠΕ και η εξοικονόμηση ενέργειας, ενώ το απαιτούμενο κόστος επενδύσεων για την επίτευξη του στόχου προ-κύπτει ότι θα είναι πιθανά και χαμηλότερο από το κόστος που θα επιβαρύνει την Ευρωπαϊκή οικονομία αν δε ληφθούν τα απαραίτητα αυτά μέτρα.

Οι κατευθύνσεις σχεδιασμού συνοψίζονται σε 10 προϋποθέσεις που οφείλουν να ικανοποιούνται για τη μετάβαση σε έναν Ενεργειακό Τομέα Χαμηλών Εκπομπών, σύμφωνα με την ΕΕ.

- Άμεση προτεραιότητα στην επίτευξη των στόχων του 2020, με εφαρμογή όλων των μέτρων που έχουν σχεδιαστεί γι' αυτό.
- Το ενεργειακό σύστημα και η κοινωνία συνολικά θα πρέπει να γίνουν δραστικά περισσότερο ενεργειακά αποδοτικοί.
- Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στη διεύθυνση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.
- Η προώθηση της τεχνολογικής καινοτομίας αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για να γίνει δυνατή η εμπορική αξιοποίηση νέων τεχνολογιών.
- Η δέσμευση της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μια πλήρως ολοκληρωμένη εσωτερική αγορά μέχρι το 2014.
- Το τελικό κόστος ενέργειας να αντανakλά τα πραγματικά κόστη του ενεργειακού συστήματος. Οι ευάλωτοι καταναλωτές πρέπει σε κάθε περίπτωση να προστατεύονται και να αποφευχθεί η ενεργειακή φτώχεια.
- Η κρισιμότητα της ανάγκης ανάπτυξης νέων ενεργειακών υποδομών και δυνατοτήτων αποθήκευσης να γίνει ευρέως αντιληπτή.
- Η ασφάλεια παραδοσιακών ή νέων μορφών πηγών ενέργειας είναι αδιαπραγμάτευτη και η ΕΕ θα συνεχίσει να αναλαμβάνει διεθνώς πρωτοβουλίες προς την κατεύθυνση αυτή.
- Η συντονισμένη Ευρωπαϊκή δράση στις διεθνείς σχέσεις να αποτελεί κανόνα με ενίσχυση των προσπαθειών για διεθνείς δράσεις για το κλίμα.
- Οι χώρες μέλη και οι επενδυτές χρειάζονται ορόσημα, γι' αυτό είναι απαραίτητη η θέσπιση πολιτικού πλαισίου προς το 2030

### 3.4.1 Εθνικός στόχος για το 2050

Με αφετηρία το 1ο Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, η Εθνική Επιτροπή Ενεργειακής Στρατηγικής του ΥΠΕΚΑ επιμελήθηκε την ανάλυση του Ελληνικού Ενεργειακού Συστήματος με στόχο τη διαμόρφωση του Ενεργειακού Χάρτη Πορείας της Ελλάδας για την περίοδο 2020-2050. Μελετήθηκαν



τρία σενάρια ώστε να προσδιορισθούν και να αξιολογηθούν εναλλακτικά μέτρα και πολιτικές για την εκπλήρωση των Εθνικών και των Ευρωπαϊκών στόχων

- Το Σενάριο «Υφιστάμενων πολιτικών» (ΥΦ) υποθέτει συντηρητική υλοποίηση των πολιτικών για την ενέργεια και το περιβάλλον, προβλέποντας αφενός μέτριο επίπεδο περιορισμού των εκπομπών CO<sub>2</sub> μέχρι το 2050 (40% σε σχέση με το 2005), αφετέρου μέτρια διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας
- Το Σενάριο «Μέτρων Μεγιστοποίησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας» (ΜΕΑΠ) υποθέτει τη μεγιστοποίηση της διείσδυσης των ΑΠΕ (στο επίπεδο του 100% στην ηλεκτροπαραγωγή), με στόχο τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 60%-70% και ταυτόχρονη σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια και τις μεταφορές
- Το Σενάριο «Περιβαλλοντικών Μέτρων Ελαχίστου Κόστους» (ΠΕΚ) έχει τις ίδιες παραδοχές με το Σενάριο ΜΕΑΠ όσον αφορά τις εκπομπές CO<sub>2</sub> αλλά υπολογίζει το ποσοστό των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή ώστε να εξασφαλιστεί το ελάχιστο επενδυτικό κόστος.

Το πρώτο κρίσιμο συμπέρασμα της ανάλυσης είναι ότι η προοπτική των υφιστάμενων πολιτικών (Σενάριο ΥΦ) οδηγεί σε περιορισμένη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> έως το 2050, που δεν συνάδει με τους ευρωπαϊκούς στόχους για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής ούτε αποτελεί την οικονομικότερη εξέλιξη του ενεργειακού τομέα.

Τα σενάρια νέας ενεργειακής πολιτικής (Σενάρια ΜΕΑΠ και ΠΕΚ), στα οποία κυριαρχεί η υψηλή διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας, επιτυγχάνουν μεγάλη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> (κατά 60% με 70% σε σχέση με το 2005) με ταυτόχρονη μείωση της εισαγόμενης ενέργειας καθώς και της ενεργειακής εξάρτησης της χώρας από εισαγωγές ορυκτών καυσίμων.

Είναι αξιοσημείωτο ότι μακροπρόθεσμα το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας δεν παρουσιάζει σημαντική διαφοροποίηση για τα διάφορα σενάρια, εμφανίζοντας ελαφρά μικρότερες τιμές για τα σενάρια μειωμένων εκπομπών. Συγκεκριμένα, ακολουθεί πτωτική τάση μετά το 2030 ενώ η αυξημένη χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και ο περιορισμός της καύσης ορυκτών καυσίμων εξασφαλίζει την περαιτέρω μείωση του κόστους μέχρι το 2050.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης των παραπάνω σεναρίων η μελλοντική εικόνα του εθνικού ενεργειακού συστήματος συνοψίζεται στα παρακάτω [21]:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 60%-70% έως το 2050 ως προς το 2005
- Ποσοστό 85%-100% ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, με την αξιοποίηση όλων των εμπορικά ώριμων τεχνολογιών, καθώς και του συνόλου του υφιστάμενου δυναμικού, σε όλη την επικράτεια και ειδικότερα την περιοχή του Αιγαίου.
- Συνολική διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε ποσοστό 60%-70% στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας μέχρι το 2050
- Σταθεροποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης λόγω των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας.

- Σχετική αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω εξηλεκτρισμού των μεταφορών και μεγαλύτερης χρήσης αντλιών θερμότητας στον οικιακό και τριτογενή τομέα.
- Σημαντική μείωση της κατανάλωσης πετρελαιοειδών.
- Αύξηση της χρήσης βιοκαυσίμων στο σύνολο των μεταφορών στο επίπεδο του 31% - 34% μέχρι το 2050.
- Κυρίαρχο το μερίδιο του ηλεκτρισμού στις επιβατικές μεταφορές μικρής απόστασης (45%) και σημαντική αύξηση του μεριδίου των μέσων σταθερής τροχιάς. •
- Σημαντικά βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση για το σύνολο του κτιριακού αποθέματος και μεγάλη διεύρυνση των εφαρμογών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στον κτιριακό τομέα.
- Ανάπτυξη μονάδων αποκεντρωμένης παραγωγής και έξυπνων δικτύων

Σε κάθε περίπτωση, αυτό που είναι ορατό είναι ότι το εθνικό ενεργειακό σύστημα έχει τη δυνατότητα να διαφοροποιηθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια, εκπληρώνοντας τις δεσμεύσεις της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής και παράλληλα παρέχοντας ασφάλεια στον τελικό καταναλωτή, καθώς τον προστατεύει από την αστάθμητη διακύμανση του κόστους των εισαγόμενων καυσίμων, προσφέροντάς του επιπλέον τις βέλτιστες τεχνολογικές λύσεις και επιλογές ώστε να επιτύχει εξοικονόμηση ενέργειας και τελικά μείωση των συνολικών του ενεργειακών δαπανών.

### 3.5 Η πρόκληση των ηλεκτρικών οχημάτων (e-Vehicles)

Ο εξηλεκτισμός του τομέα των μεταφορών αποτελεί ένα φαινόμενο που συμβάλλει στην νέα πραγματικότητα των σύγχρονων ΣΗΕ. Τα ηλεκτροκίνητα τρένα τείνουν να επικρατήσουν στις ανεπτυγμένες χώρες. Τα ηλεκτροκίνητα μέσα μαζικής μεταφοράς (metro, tram, trolley) ,με τη σειρά τους, παρουσιάζουν αυξανόμενη διείσδυση στο αστικό περιβάλλον. Όμως το πιο δυναμικά αναπτυσσόμενο κομμάτι των ηλεκτροκίνητων μέσων μεταφοράς είναι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα [28].

Τα ηλεκτρικά οχήματα συνεχίζουν να γίνονται όλο και πιο δημοφιλή όσο οι περιβαλλοντικές ανησυχίες εντείνονται. Αποτελούν ένα σπουδαίο μέσο για να περιοριστεί η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

Τα αυτοκίνητα μπορούν λοιπόν να υιοθετήσουν ως λύση καυσίμου την ηλεκτρική ενέργεια. Εντούτοις, η ολοκληρωμένη προσέγγιση της τεχνολογίας σύνδεσης οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο (Vehicle to Grid – V2G), απαιτεί μια μη μονομερή θεώρηση του ζητήματος. Τα αυτοκίνητα μπορούν να λειτουργήσουν όχι μόνο ως καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με τις μετακινήσεις τους αλλά και αμφίδρομα, αποδίδοντας ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο όποτε τους «ζητηθεί». Η διαχείριση αυτής ακριβώς της ζήτησης είναι ένα επίσης σημαντικό ζήτημα αφού σχετίζεται με τη σειρά του με την αντιμετώπιση αιχμών ζήτησης, αυξημένων δηλαδή απαιτήσεων φορτίων προς εξυπηρέτηση, η ικανοποίηση των οποίων δύναται αν μη τι άλλο να χαρακτηρίσει ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεσματικό και αποδοτικό ή όχι [29].

Έτσι, τα ηλεκτρικά οχήματα προσεγγίζονται σε ένα πλαίσιο ανταλλαγής ηλεκτρικής ενέργειας με το δίκτυο, με τη βέλτιστη διαχείριση των ανταλλασσόμενων ενεργειακών ποσών να αποτελεί και το τελικό ζητούμενο της εφαρμογής της τεχνολογίας, η οποία όμως σε πρώτο στάδιο θα πρέπει να γίνει λειτουργική και ευρέως αποδεκτή. Με τον τρόπο αυτό, θα επιτευχθεί όχι μόνο εξοικονόμηση συμβατικού καυσίμου και προστασία του περιβάλλοντος αλλά και ορθολογική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, με τα ηλεκτρικά οχήματα να διαδραματίζουν ένα δυναμικό ρόλο «δούναι και λαβείν», με απώτερο σκοπό την εξυπηρέτηση των αρχικών στόχων της τεχνολογίας V2G, έτσι όπως τους οραματίστηκαν οι εμπνευστές της. Άλλωστε, η ορθολογική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί επίσης ένα βασικό στοιχείο των καιρών, αφού σε διαφορετική περίπτωση, είτε οι χρήστες δεν εξυπηρετούνται, οπότε το ηλεκτρικό δίκτυο είναι ανεπαρκές, είτε η παραγωγή των αυξημένων απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με τη βοήθεια συμβατικών μεθόδων ηλεκτροπαραγωγής, επιβαρύνοντας έτσι το περιβάλλον σε πρωτογενές επίπεδο.

## 4. Το Ευφυές Ηλεκτρικό Δίκτυο

### 4.1 Ορισμός

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για τον όρο Ευφυές Ηλεκτρικό Δίκτυο – Smart Grid, ορισμένοι από τους οποίους επικεντρώνονται στα λειτουργικά χαρακτηριστικά, άλλοι στα τεχνικά και άλλοι στα οφέλη που προκύπτουν από την υλοποίησή του.

- Σύμφωνα με τον ορισμό που δίνεται στην Εφημερίδα της ΕΕ :

“το ΕΗΔ ορίζεται ως το αναβαθμισμένο δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας στο οποίο έχουν προστεθεί αμφίδρομη ψηφιακή επικοινωνία μεταξύ καταναλωτή και προμηθευτή καθώς και έξυπνα συστήματα μέτρησης, παρακολούθησης και ελέγχου των παραμέτρων της Ηλεκτρικής Ενέργειας.”

- Το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (U.S. Department of Energy) αναφέρει :

“ως ΕΗΔ ορίζεται το σύνολο των τεχνολογιών που εκσυγχρονίζουν το παραδοσιακό ΣΗΕ. Οι τεχνολογίες αυτές χαρακτηρίζονται από τον απομακρυσμένο έλεγχο, τον αυτοματισμό και την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ καταναλωτή και παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας, με ενσωμάτωση υπολογιστικών συστημάτων. Τα ΕΗΔ εφαρμόζονται σε επίπεδο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και φθάνουν μέχρι το επίπεδο καταναλωτή και στόχος τους είναι η αποδοτικότητα και η αξιοπιστία του ηλεκτρικού δικτύου.”

- Τέλος στο Electric Power Research Institute (EPRI):

“ο όρος ΕΗΔ αναφέρεται στον εκσυγχρονισμό του ΣΗΕ ώστε να παρακολουθεί, να προστατεύει και αυτόματα να βελτιστοποιεί τη λειτουργία των διασυνδεδεμένων στοιχείων του – από τη συγκεντρωτική και διεσπαρμένη παραγωγή μέσω του δικτύου μεταφοράς και διανομής, μέχρι τους βιομηχανικούς καταναλωτές, τα αυτοματοποιημένα συστήματα διαχείρισης κτιρίων, τα

συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και τους τελικούς καταναλωτές, συμπεριλαμβάνοντας τα ηλεκτρικά οχήματα και τις οικιακές συσκευές.”

Το κοινό χαρακτηριστικό που περιλαμβάνεται σε όλους ορισμούς του ΕΗΔ είναι η ενσωμάτωση τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Ικανή και αναγκαία συνθήκη για το χαρακτηρισμό ενός Ηλεκτρικού Δικτύου ως «Ευφυούς» είναι η ύπαρξη ενός πολύ-επίπεδου στρώματος επικοινωνιών (communications layer) παράλληλα με το ενεργειακό στρώμα παραγωγής-μεταφοράς-διανομής και κατανάλωσης ενέργειας (power layer). Η συλλογή, η μεταφορά και η διαχείριση των ψηφιακών δεδομένων που αφορούν το Ηλεκτρικό Δίκτυο απαιτεί τηλεπικοινωνιακή υποδομή και κέντρα διαχείρισης του μεγάλου όγκου πληροφοριών. Η ύπαρξη αποδοτικής τηλεπικοινωνιακής υποδομής είναι μείζονος σημασίας για την αποδοτική εποπτεία και τον έλεγχο του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.



*Εικόνα 4.1: Η έννοια του Smart Grid*

## 4.2 Χαρακτηριστικά του Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά ενός ΕΗΔ :

- Η αμφίδρομη ροή πληροφορίας περί της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και η διαχείριση της πληροφορίας αυτής σχεδόν σε πραγματικό χρόνο (near-real time).

Στο ΕΗΔ παράγεται διαρκώς σημαντικός όγκος πληροφοριών, άμεσα αξιοποιήσιμος από το διαχειριστή του συστήματος μεταφοράς, το διαχειριστή των δικτύων διανομής, αλλά και τους παραγωγούς, προμηθευτές και καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα, υπάρχει αμφίδρομη ροή πληροφορίας μεταξύ των ανωτέρω φορέων, επιτυγχάνοντας υψηλού επιπέδου εποπτεία και έλεγχο όλων των παραμέτρων της ενέργειας. Σε επίπεδο κατανάλωσης, η διασύνδεση των συσκευών κατανάλωσης με το σύστημα διαχείρισης ενέργειας του καταναλωτή, καθώς και η διασύνδεση του συστήματος αυτού με τον προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέπει στον καταναλωτή να εποπτεύει την κατανάλωσή του, να επεμβαίνει σε πραγματικό χρόνο και να έχει ενεργή συμμετοχή στο κόστος της ενέργειας που καταναλώνει και στο ενεργειακό του αποτύπωμα. Ταυτόχρονα, η αμφίδρομη ροή αυτή προσφέρει τη δυνατότητα στο διαχειριστή του δικτύου διανομής να διαχειρίζεται τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας καθώς πλέον το δίκτυο εφοδιάζεται με ευελιξία και προσαρμοστικότητα.

- Το ΕΗΔ χαρακτηρίζεται από αυτόματη αποκατάσταση βλαβών και διαθέτει τη δυνατότητα αυτοϊασης (self healing).

Με τη χρησιμοποίηση εξελιγμένων αισθητήρων (sensors) και ευφυών ηλεκτρικών συσκευών (IED's) περιορίζεται η ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης σε έκτακτες περιπτώσεις όπως εκτεταμένες διακοπές της ηλεκτρικής ενέργειας. Πλέον, το δίκτυο είναι σε θέση να προβλέπει ή να ανιχνεύει σφάλματα και αποκρίνεται να άμεσα. Με την συνεχή παρακολούθηση του συστήματος μεταφοράς και του δικτύου διανομής από τους διαχειριστές και έχοντας επιτύχει την βέλτιστη ανατροφοδότηση της ηλεκτρικής ενέργειας, το ΕΗΔ ανταποκρίνεται καλύτερα στις διακοπές της παροχής ενέργειας με αποτέλεσμα την αύξηση της αξιοπιστίας του.

- Το ΕΗΔ αξιοποιεί βέλτιστα τον εξοπλισμό του ΣΗΕ

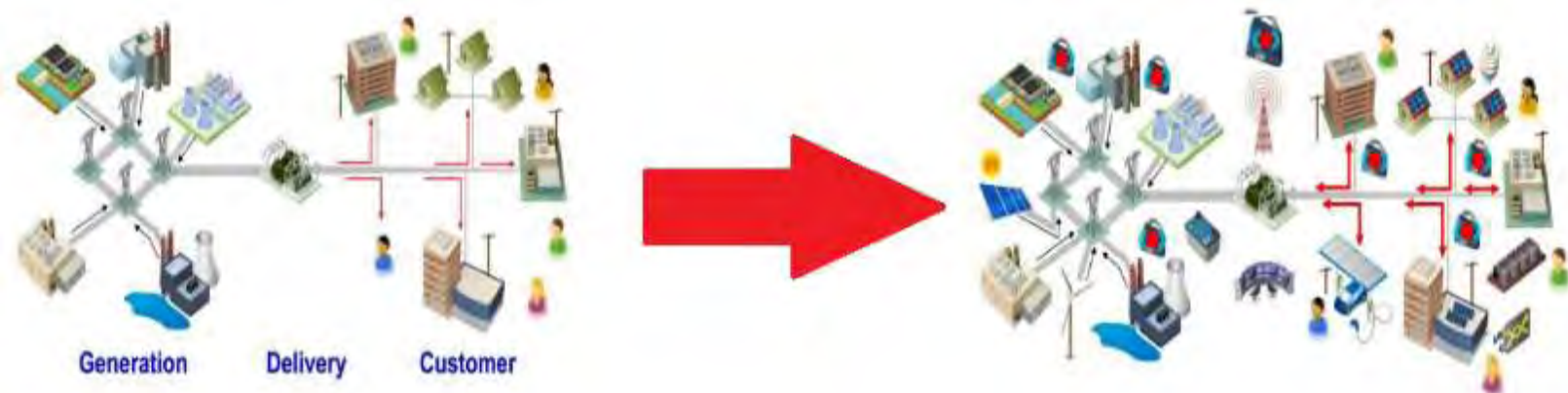
Μετατίθεται η επέκταση του δικτύου που απαιτεί την κατασκευή νέων γραμμών και νέων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς το ΕΗΔ βελτιστοποιεί τη ροή ισχύος μέσω των υφιστάμενων εγκαταστάσεων. Η διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής καθώς και η δυνατότητα μείωσης της μέγιστης ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας που διευκολύνεται από την επικοινωνία και την ενεργειακή προσαρμογή των καταναλωτών, μειώνει την ανάγκη αύξησης της παραγωγής ενέργειας από τις μεγάλες μονάδες παραγωγής κατά ώρες αιχμής.

- Το ΕΗΔ χαρακτηρίζεται από υψηλή διείσδυση ΑΠΕ στο μείγμα παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ο τρόπος λειτουργίας του ΕΗΔ προσφέρει την κάλυψη των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας κατά μεγάλο ποσοστό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η δυνατότητα της αμφίδρομης ροής της ηλεκτρικής ενέργειας από και προς τα δίκτυα διανομής χωρίς κινδύνους για την αξιοπιστία του δικτύου και η δυνατότητα διατήρησης της ευστάθειας που διαθέτουν τα ΕΗΔ, σε συνδυασμό με τη δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και ελέγχου της ζήτησης, αυξάνουν κατά πολύ το ποσοστό διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

- Η ενσωμάτωση έξυπνων μετρητών καθίσταται δυνατή την ευέλικτη τιμολόγηση

Οι έξυπνοι μετρητές μέσω της συνεχούς μετάδοσης δεδομένων κατανάλωσης σε κατάλληλες πλατφόρμες επικοινωνίες (π.χ. οθόνη συστήματος οικιακής διαχείρισης ενέργειας), παρουσιάζουν σε ένα διαδραστικό περιβάλλον την πραγματική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και το κόστος αυτής. Καταργούν την κατ' εκτίμηση χρέωση και επιβάλλουν την τιμολόγηση επί της πραγματοποιηθείσας κατανάλωσης. Προσφέρεται ακόμα η ευελιξία στο χρήστη να επιλέγει εξατομικευμένα προγράμματα και προμηθευτές με βάση τις οικονομικές τους προσφορές.



Εικόνα 4.2: Συμβατικό ΣΗΕ και Ευφυές Ηλεκτρικό δίκτυο

Τα συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά του ΕΗΔ σε αντιπαράβολή με τα χαρακτηριστικά του υπάρχοντος παραδοσιακού ηλεκτρικού δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1 . Από τη σύγκριση τους προκύπτουν σημαντικές διαφορές.



Traditional Grid	Smart Grid
<b>Electromechanical devices</b> Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός	<b>Digital/microprocessor devices</b> Ψηφιακός εξοπλισμός
<b>Conventional meters</b> Παραδοσιακοί μετρητές	<b>Smart meters</b> Έξυπνοι μετρητές
<b>One kind of tariff</b> Ενιαίος τρόπος τιμολόγησης ΗΕ	<b>Flexible tariffs</b> Ευέλικτη τιμολόγηση
<b>Estimated billing</b> Κατά προσέγγιση τιμολόγηση	<b>Precise billing</b> Ακριβής τιμολόγηση
<b>Estimated load profile</b> Εκτιμώμενο ενεργειακό προφίλ	<b>Accurate forecasting</b> Ακριβής πρόβλεψη φορτίων
<b>One-way power flow</b> Μονόδρομη ροή ισχύος	<b>Two-ways power flow</b> Αμφίδρομη ροή ισχύος
<b>One-way information flow</b> Μονόδρομη ροή πληροφορίας	<b>Two-ways information flow</b> Αμφίδρομη ροή πληροφορίας
<b>Centralized generation</b> Συγκεντρωτική παραγωγή	<b>Distributed generation</b> Διεσπαρμένη παραγωγή
<b>Congestion and bottlenecks</b> Φαινόμενα συμφόρησης και υπερφόρτωσης	<b>Security and sustainability</b> Ασφάλεια και βιωσιμότητα
<b>Centralized control</b> Συγκεντρωτικός έλεγχος	<b>Optimal maintenance and operation</b> Βέλτιστη συντήρηση και λειτουργία
<b>Radial and loop topology</b> Ακτινική και βροχοειδής τοπολογία	<b>Network topology</b> Τοπολογία δικτύου
<b>Manual restoration</b> Χειροκίνητη αποκατάσταση βλαβών/σφαλμάτων	<b>Self-healing</b> Αυτόματη αποκατάσταση
<b>Limited integration of renewable energies</b> Περιορισμένη διείσδυση ΑΠΕ	<b>Full integration of renewable energies</b> Πλήρης ενσωμάτωση ΑΠΕ
<b>Differing regulatory</b> Διαφορετική λειτουργία δικτύων ανά κράτος	<b>Cross-border trading</b> Διεθνώς διασυνδεδεμένα και συγχρονισμένα δίκτυα
<b>Outdated structure</b> Παρωχημένες υποδομές	<b>Flexible structure</b> Ευέλικτες υποδομές
	<b>Real-time operations</b> Χειρισμοί σε πραγματικό χρόνο
	<b>Active customers participation</b> Ενεργή συμμετοχή των χρηστών ΗΕ
	<b>Monitoring real time status</b> Απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο της κατάστασης του δικτύου
	<b>Customers own generation</b> Αυτοπαραγωγή ΗΕ καταναλωτών
	<b>Smart house control</b> Έλεγχος έξυπνης κατοικίας
	<b>Power storage</b> Αποθήκευση ενέργειας

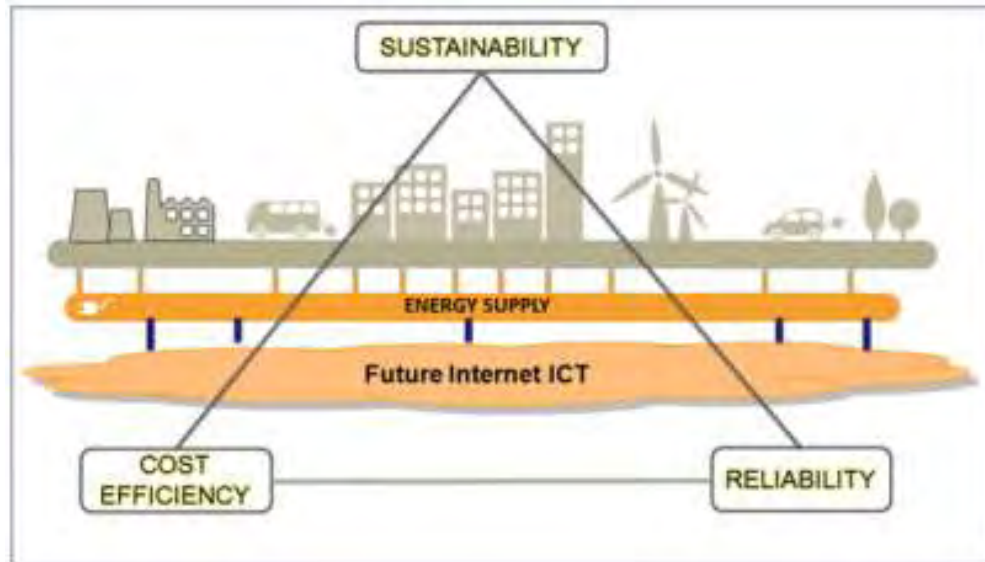
*Εικόνα 4.3: Αντιπαραβολή χαρακτηριστικών του συμβατικού ΣΗΕ με το ΗΕΔ*

### 4.3 Οφέλη του Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου

Συγκεντρωτικά, τα οφέλη της μετάβασης από τα συμβατικά συστήματα ηλεκτρικής στα ΕΗΔ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε πολλούς τομείς. Τα οφέλη αυτά εντοπίζονται σε όλα τα τμήματα ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (παραγωγή, μεταφορά, διανομή, κατανάλωση, αγορά ενέργειας) και περιγράφονται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια. Οι τομείς που αναμένεται να βελτιωθούν λόγω μετάβασης στο ΕΗΔ είναι:

- Αξιοπιστία (Reliability)
  - Περιορίζεται ο κίνδυνος γενικής διακοπής (blackout) , ακόμα και στη περίπτωση όπου συμβεί γενική διακοπή ανιχνεύεται και απομονώνεται η διαταραχή με αποτέλεσμα την ταχεία αποκατάσταση του συστήματος. Ουσιαστικά ενισχύεται ο βαθμός της αδιάλειπτης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.
  - Μείωση διακοπών Ηλεκτρικής Ενέργειας (outages) και βελτίωση όλων των δεικτών αξιοπιστίας του ηλεκτρικού δικτύου (SAIDI, SAIFI , MAIDI, MAIFI).
- Αποδοτικότητα (efficiency)
  - Μείωση της απαιτούμενης εγκατεστημένης ισχύος λόγω ενσωμάτωσης μέσω αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας.
  - Μείωση τόσο των απωλειών ενέργειας όσο και της ζήτησης αιχμής στα συστήματα μεταφοράς και στα δίκτυα διανομής μέσω του ελέγχου της ροής ισχύος.
  - Αύξηση της ικανότητας και δυναμικότητας του δικτύου στη μεταφορά και τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό γίνεται μέσω της βέλτιστης αξιοποίησης των πόρων του υπάρχοντος δικτύου (increased capability) χωρίς την ανάγκη επέκτασής του.
  - Αποφόρτιση του δικτύου λόγω της μελλοντικής ευρείας ενσωμάτωσης των Ηλεκτρικών Οχημάτων (plug-in Electric Vehicles) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως πηγές.
- Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service)
  - Αύξηση της ευστάθειας (Stability) Διατήρηση συχνότητας και τάσης εντός των προκαθορισμένων ορίων και μείωση των διακυμάνσεων. Το όφελος αυτό καθίσταται ακόμα σημαντικότερο καθώς η αύξηση της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο δημιουργεί διακυμάνσεις στη συχνότητα και την τάση των δικτύων διανομής.
  - Περιορισμός των αρμονικών παραμορφώσεων (harmonic distortion reduction).
- Περιβαλλοντικά οφέλη – αειφορία (environmental benefits – sustainability)
  - Μείωση εκπομπών CO2 και λοιπών αερίων ρύπων .
  - Εξηλεκτρισμός της ενέργειας στους τομείς θέρμανσης και μεταφοράς.
  - Αποτροπή νέων επεμβάσεων στα φυσικά οικοσυστήματα που προκαλούνται από την εγκατάσταση νέων μεγάλων μονάδων παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.





Εικόνα 4.4: Οι 3 τομείς-στόχοι του Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου

- Οικονομικά οφέλη (Financial Benefits)
  - Καλύτερη αξιοποίηση των υφιστάμενων στοιχείων του δικτύου (Improved Asset Utilization), αναβολή νέων επενδύσεων στη παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και βελτιστοποιημένη λειτουργία των εγκαταστάσεων παραγωγής.
  - Εξοικονόμηση κεφαλαίων για επενδύσεις σε νέα δίκτυα μεταφοράς και διανομής (T&D capital savings) με αναβολές επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς – διανομής και με μείωση του κόστους βλαβών εξοπλισμού (λόγω μείωσης των βλαβών μειώνεται και το κόστος αποκατάστασης τους).
  - Περιορισμός της ρευματοκλοπής (Theft Reduction).
  - Μείωση δαπανών συντήρησης και λειτουργίας εγκαταστάσεων μεταφοράς και διανομής (T&D O&M Savings) μέσω της μείωσης του κόστους συντήρησης, του κόστους λειτουργίας και του κόστους ανάγνωσης και λειτουργίας των μετρητών.

#### 4.4 Τηλεπικοινωνιακά δίκτυα για τη μετάδοση δεδομένων Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου

Λόγω της εξάρτησης του ΕΗΔ από την αξιόπιστη, αποτελεσματική και ασφαλή μετάδοση καθώς και τη διαχείριση δεδομένων, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ολοκληρωμένης τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Η ενσωμάτωση των τηλεπικοινωνιών αποτελεί το πρώτο βήμα για τη μετάβαση από τα συμβατικά στα ΕΗΔ.

##### 4.4.1 Αρχιτεκτονική δικτύων επικοινωνίας Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου

Όπως όλα τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, τα δίκτυα επικοινωνίας του ΕΗΔ, , ιεραρχούνται σε τρία βασικά επίπεδα ανάλογα με τη γεωγραφική κάλυψη και τις ανάγκες που εξυπηρετούν.

## 1. Home Area Network – HAN

Στο χαμηλότερο επίπεδο επικοινωνίας στις εφαρμογές ΕΗΔ, τα HANs αναφέρονται στα δίκτυα εντός οικίας που συνδέουν ενεργειακές συσκευές. Επιτρέπουν την παρακολούθηση και τον έλεγχο της κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας εντός των οικιών και, επιπλέον, την εφαρμογή νέων λειτουργιών όπως Demand Response (DR) και την υλοποίηση πρόσθετων υποδομών όπως Advanced Metering Infrastructure (AMI). Αντίστοιχα, τα Business Area Networks (BANs) αναφέρονται σε περιβάλλον επιχειρήσεων και τα Industrial Area Networks (IANs) χρησιμοποιούνται ως δίκτυα υποδομής για την επικοινωνία και τη διασύνδεση όλων των συσκευών και του μηχανικού εξοπλισμού μιας βιομηχανίας. Αν και η επικοινωνία σε επίπεδο HAN απαιτεί χαμηλό εύρος ζώνης, πρέπει παράλληλα να είναι τακτική και αδιάλειπτη μεταξύ των συσκευών και του συστήματος διαχείρισης Ηλεκτρικής Ενέργειας (Home Energy Management System). Τα δίκτυα HAN μπορούν διαχωριστούν σε ασύρματα, σε ενσύρματα που δεν απαιτούν πρόσθετη καλωδίωση και σε ενσύρματα που απαιτούν πρόσθετη καλωδίωση, καθώς και συνδυασμό αυτών. Τα επικρατέστερα πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας είναι το WiFi (IEEE 802.11n) και το ZigBee (IEEE 802.15.4). Στην ενσύρματη δικτύωση που επιβάλλει νέα καλωδίωση, κυρίαρχο πρότυπο αποτελεί το Ethernet (IEEE 802.3) ενώ στην δικτύωση που χρησιμοποιεί την ήδη υπάρχουσα καλωδίωση του ηλεκτρικού δικτύου της οικίας χρησιμοποιούνται τα πρότυπα PLC. Συγκεκριμένα το πρότυπο PLC τεχνολογίας που χρησιμοποιείται ευρύτερα είναι το HomePlug (IEEE 1901). Ανταγωνιστικά πρότυπα ενσύρματης τεχνολογίας, χωρίς όμως ευρεία εφαρμογή, είναι το HomePNA (ITU-T G.9954) που χρησιμοποιεί το δίκτυο των τηλεφωνικών γραμμών ή το δίκτυο ομοαξονικών καλωδίων ενός κτιρίου και το G.hn (ITU-T G.9960) που χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό και το τηλεφωνικό δίκτυο και ομοαξονικά καλώδια [30].

## 2. Neighborhood Area Network NAN

Ως NAN αναφέρεται το δίκτυο ενδιάμεσης επικοινωνίας των ΕΗΔ, στο οποίο πραγματοποιείται η μεταφορά δεδομένων των έξυπνων μετρητών κατανάλωσης και των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από και προς τους προμηθευτές. Επιπλέον, είναι το δίκτυο στο οποίο γίνεται η επικοινωνία των εφαρμογών εποπτείας και ελέγχου του δικτύου διανομής, όπως των συστημάτων SCADA διαχείρισης του αυτοματοποιημένου εξοπλισμού διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, από και προς το διαχειριστή του δικτύου διανομής. Τα NAN δίκτυα εκκινούν από τις πύλες διαφυγής (gateways) των διεπαφών των HAN και τερματίζουν στους συλλέκτες (collectors) και τους συγκεντρωτές δεδομένων (data concentrators) που είναι εγκατεστημένοι στο επίπεδο των υποσταθμών μέσης τάσης/χαμηλής τάσης του δικτύου διανομής στην πλευρά του WAN. Για την επικοινωνία σε επίπεδο NAN χρησιμοποιούνται διαφορές τεχνολογίες τόσο ασύρματες όσο και ενσύρματες. Στην ασύρματη επικοινωνία επικρατούν τα wireless πρωτόκολλα της οικογένειας IEEE 802 (π.χ. WiMAX) και κυρίως οι τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας (GPRS, EDGE, UMTS, LTE). Στην ενσύρματη επικοινωνία επικρατούν οι τεχνολογίες ευρυζωνικής μετάδοσης μέσω τηλεφωνικών γραμμών (DSL) και οι τεχνολογίες PLC.

## 3. Wide Area Network – WAN

Τα WANs αναφέρονται στα δίκτυα επικοινωνίας επιπέδου κορμού (Backhaul Networks). Είναι δίκτυα που εκτείνονται σε μια ευρεία γεωγραφική περιοχή και μπορούν να φιλοξενήσουν τους τερματικούς σταθμούς και τα τοπικά δίκτυα. Στις εφαρμογές ΕΗΔ αποκαλούνται συνήθως

Backhaul και αποτελούν το σκελετό των τηλεπικοινωνιακών υποδομών. Είναι υπεύθυνα για την διακίνηση της πληροφορίας στο Σύστημα Μεταφοράς και στο δίκτυο διανομής, διασυνδέοντας τους υποσταθμούς, τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τις διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας καθώς και όλο τον αυτοματοποιημένο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό του δικτύου διανομής, όπως οι μετασχηματιστές, οι αντισταθμιστές αέργου ισχύος και οι διακόπτες ισχύος. Λόγω της δυνατότητας αμφίδρομης επικοινωνίας με τον εξοπλισμό τους, παρέχεται η δυνατότητα στους διαχειριστές των δικτύων να εφαρμόζουν αυτοματισμό της διανομής (Distribution Automation - DA) και απεικόνιση της ποιότητας της ισχύος (Power Quality Monitoring). Επιπλέον, τα WANs είναι αυτά που συγκεντρώνουν και αναμεταδίδουν τα δεδομένα των συστημάτων AMI στα MDMS καθώς και τα δεδομένα που χρειάζονται τα μεγάλα EMS σε επίπεδο μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Για την επικοινωνία σε επίπεδο WAN χρησιμοποιούνται ασύρματες κυρίως, αλλά και ενσύρματες τεχνολογίες. Το μείγμα ασύρματων επικοινωνιών αποτελείται από τεχνολογίες κυψελωτών δικτύων (GSM, GPRS, UMTS, LTE), από άλλες τεχνολογίες ραδιοσυχνοτήτων (RF technologies) και από το WiMAX (IEEE 802.2.16). Οι ενσύρματες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται ευρύτερα είναι οι διάφορες PLC επικοινωνίες και σε μικρότερο βαθμό η μετάδοση μέσω οπτικών ινών.

#### 4.4.2 Τεχνολογίες επικοινωνίας

Η ψηφιακή φύση των δεδομένων του ΕΗΔ προσφέρει τη δυνατότητα αξιοποίησης όλων των γνωστών τρόπων ψηφιακής επικοινωνίας. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι επικρατέστερες μέχρι στιγμής τεχνολογίες για την υλοποίηση των δικτύων επικοινωνίας που αφορούν το ΕΗΔ. Επισημαίνεται ότι στις περισσότερες υλοποιήσεις χρησιμοποιείται μείγμα τεχνολογιών και όχι αποκλειστικά ένα τρόπος επικοινωνίας [31].

##### Τεχνολογίες Ενσύρματης Επικοινωνίας

##### 1. Digital Subscriber Line – DSL

Το ακρωνύμιο DSL προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Digital Subscriber Line (Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή) και περιγράφει την τεχνολογία ευρυζωνικής μετάδοσης που μετατρέπει το απλό χάλκινο τηλεφωνικό καλώδιο σε δίαυλο ψηφιακής επικοινωνίας μεγάλου εύρους ζώνης. Είναι η ευρύτερα διαδεδομένη τεχνολογία πρόσβασης στο Διαδίκτυο στα σταθερά ενσύρματα δίκτυα. Οι συνήθεις παραλλαγές του DSL είναι:

- Το ADSL (Asymmetric DSL), που χαρακτηρίζεται από ασύμμετρη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων από το δίκτυο στο χρήστη και από το χρήστη στο δίκτυο, προσφέρει ρυθμό μετάδοσης λήψης (downlink transmission ratio) στους χρήστες που εξαρτάται από την απόσταση μετάδοσης και φθάνει μέχρι τα 24Mbps.
- Το VDSL (Very-high-data-rate DSL), που λειτουργεί όπως το ADSL αλλά απαιτεί ενδιάμεση χρήση οπτικών ινών και μικρές αποστάσεις μετάδοσης από τον τελικό καταναλωτή και προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης που υπερβαίνουν τα 30Mbps.

Οι ταχύτητες μετάδοσης που επιτυγχάνουν οι τεχνολογίες DSL υπερεπαρκούν για την επικοινωνία κορμού του έξυπνου δικτύου.

##### 2. Μετάδοση πληροφορίας μέσω των γραμμών ηλεκτρικής ισχύος

Η τεχνολογία Power Line Communications (PLC) ή Broadband over Power Lines (BPL) εκμεταλλεύεται το ήδη υπάρχον δίκτυο μεταφοράς και διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας για τη μετάδοση δεδομένων με ρυθμούς που μπορούν να υπερβούν τα 200 Mbps, ανεξάρτητα και παράλληλα με τη μεταφορά της Ηλεκτρικής Ενέργειας από τα ίδια καλώδια. Η τεχνολογία PLC προσφέρει ακόμα τη δυνατότητα ευρυζωνικής πρόσβασης στο Διαδίκτυο και ανταποκρίνεται και αυτή στις απαιτήσεις μετάδοσης του δικτύου των έξυπνων μετρητών. Η έρευνα και η προτυποποίηση των PLC συστημάτων βρίσκεται στα τελικά στάδια. Το συνηθέστερο PLC πρωτόκολλο σε επίπεδο HAN είναι το :

- Το HomePlug (IEEE 1901) που υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης 4 – 10 Mbps.

Σε επίπεδο NAN, τα πρότυπα τεχνολογίας επικοινωνίας PLC που είναι ευρέως διαδεδομένα για εφαρμογές τηλεμέτρησης είναι τα ακόλουθα:

- PRIME (Powerline Intelligent Metering Evolution). Εκπροσωπεί μια ανοικτή, μη ιδιωτική τεχνολογία επικοινωνιών, η οποία υποστηρίζει τις παρούσες και μελλοντικές λειτουργίες διαχείρισης μετρητικών δεδομένων (AMM). Χρησιμοποιείται επιτυχώς σε 3.2 εκατ. Μετρητές παγκοσμίως [32]. Η σχεδίαση της αρχιτεκτονικής του PRIME έγινε με κριτήρια το χαμηλό κόστος και την υψηλή απόδοση. Ο ρυθμός δεδομένων που έχει επιτευχθεί φθάνει τα 128 kbps.
- G3-PLC. Στόχος της τεχνολογίας αυτής είναι η ανάπτυξη ενός προτύπου για PLC modems βάσει των προδιαγραφών που θέτει η ERDF (Electricite Reseau Distribution France). Ο ρυθμός δεδομένων που έχει επιτευχθεί στο φυσικό στρώμα (physical layer) φθάνει τα 32kbps.
- PLC-OSGP (Open Smart Grid Protocol). Είναι ένα πρότυπο που δημιουργήθηκε από το Ινστιτούτο ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Η τεχνολογία αυτή εφαρμόζεται σε διάφορες χώρες της Ευρώπης, όπως Δανία, Ολλανδία, Ρωσία Σουηδία, Φινλανδία, Γερμανία και Αυστρία, περίπου σε 4 εκατ. πελάτες. Επιτυγχάνει ταχύτητα μετάδοσης της τάξης 5kbps.
- Meters and More. Είναι πρωτόκολλο PLC που διατίθεται στη βιομηχανία από το 2010 μέσω του «Meters and More association». Χρησιμοποιείται σε περισσότερους από 40εκατ. πελάτες παγκοσμίως και πρόκειται να εφαρμοστεί άμεσα και σε 13 εκατ. πελάτες της Ισπανίας. Η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων φθάνει τα 9.6 kbps [32].

### 3. Οπτικές Ίνες – Fiber Optics

Οι οπτικές ίνες είναι πολύ λεπτά νήματα από πλαστικό ή γυαλί, μέσω των οποίων μεταδίδονται ψηφιακά δεδομένα υπό μορφή φωτός. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλό bandwidth, ενώ πλέον το κόστος εγκατάστασης δεν είναι απαγορευτικό. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μέσω οπτικών ινών είναι της τάξης των Gbps και η εμβέλειά τους φθάνει τα 10 έως 60km ανάλογα με το πρότυπο που χρησιμοποιείται. Οι οπτικές ίνες καθίστανται κατάλληλες για δίκτυα κορμούς (backbone) σε επίπεδο WAN λόγω του υψηλού ρυθμού μετάδοσης, της υψηλής αξιοπιστίας και της αντοχής σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές της μέσης και της υψηλής τάσης.

## Τεχνολογίες Ασύρματης επικοινωνίας

### 1. Bluetooth

Το Bluetooth (IEEE 802.15.1) είναι ένα πρότυπο για ασύρματη επικοινωνία προσωπικών δικτύων (Wireless Personal Area Networks - WPANs). Είναι τεχνολογία χαμηλής ισχύος και χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και λειτουργεί στη συχνότητα των 2.4 – 2.48GHz . Ανάλογα με την έκδοση/κλάση του Bluetooth, η εμβέλεια του κυμαίνεται από 1 μέχρι 100 μέτρα, ενώ υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης από 1 μέχρι 24Mbps. Μειονέκτημα του Bluetooth αποτελεί το γεγονός ότι σε κάθε master device μπορούν να συνδεθούν μόνο μέχρι 7 slave devices [33].

### 2. Ασύρματα δίκτυα Wi-Fi

Τα επικρατέστερα πρότυπα για την εφαρμογή Wi-Fi ασύρματης επικοινωνίας είναι τα εξής:

- Το πρότυπο IEEE 802.15.4 ZigBee, αφορά δίκτυα χαμηλού κόστους εγκατάστασης, χαμηλής ισχύος, χαμηλού ρυθμού μετάδοσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως. Λειτουργεί σε τρεις ζώνες συχνοτήτων: 868-868.6 MHz με 1 κανάλι στην Ευρώπη, 902-928 MHz με 10 κανάλια στη Β. Αμερική, και 2.4 GHz με 16 μη επικαλυπτόμενα κανάλια σε διάφορες περιοχές του κόσμου, κυρίως στη ΝΑ Ασία. Η εμβέλεια του ZigBee φθάνει τα 150 m.
- Το πρότυπο IEEE 802.11n Wi-Fi μπορεί να προσφέρει υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων ενώ δεν είναι, πλέον, απαγορευτικό λόγω κόστους. Μοιράζεται την ίδια ζώνη συχνοτήτων με το πρότυπο 802.15.4 ZigBee στο φυσικό στρώμα. Ο αριθμός των προσφερόμενων μη επικαλυπτόμενων καναλιών είναι 23. Η εμβέλεια του 802.11n Wi-Fi φθάνει τα 250 m. Σημαντικά μειονεκτήματα είναι η ευαισθησία σε επιθέσεις και η σχετικά μεγάλη κατανάλωση ενέργειας (100 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με το ZigBee).
- Το πρότυπο IEEE 802.16 WiMAX μπορεί να παρέχει χαμηλού κόστους μεγάλης εμβέλειας επικοινωνίες. Υπάρχουν δύο εκδόσεις, με την πρώτη να φθάνει τα 70Mbps και τη δεύτερη το 1Gbps. Χαρακτηρίζεται από μεγάλη εμβέλεια που φθάνει τα 3 - 5km, ενώ η μέγιστη θεωρητική εμβέλεια φθάνει τα 50km. Χρησιμοποιεί τις ελεύθερες περιοχές φάσματος των 2.3, 2.5 και 3.5GHz. Το WiMAX είναι ιδανικό ως ασύρματη backhaul τεχνολογία για 2G, 3G και 4G δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

### 3. Global System for Mobile communications – GSM

Το GSM είναι το κυψελωτό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G), το οποίο για τη μετάδοση σημάτων χρησιμοποιεί πολλαπλή πρόσβαση MF-TDMA με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών και τη διαίρεση αυτών σε

χρονοθυρίδες. Οι κυριότερες τεχνολογίες επικοινωνίας που έχουν αναπτυχθεί με βάση το πρότυπο GSM είναι οι ακόλουθες :

- General Packet Radio Service – GPRS: Το GPRS (2.5G) είναι μη φωνητική υπηρεσία που επιτρέπει την αποστολή και λήψη δεδομένων μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας GSM. Αναπτύχθηκε με στόχο την περισσότερο αποδοτική χρήση των διαθέσιμων πόρων ώστε ο χρήστης να μπορεί να απολαμβάνει τα πλεονεκτήματα ταχείας και αδιάλειπτης σύνδεσης με το Διαδίκτυο.
- Enhanced Data rates for GSM Evolution – EDGE: Το EDGE γνωστό και ως βελτιωμένο GPRS (EGPRS), είναι η τεχνολογία που προσφέρει στα υπάρχοντα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G) την απαιτούμενη χωρητικότητα και ταχύτητα, ώστε να καταστεί δυνατή η χρήση τους για παροχή υπηρεσιών που προσφέρονται από τα δίκτυα τρίτης γενιάς (3G). Ουσιαστικά το EDGE αποτελεί αναβάθμιση του GPRS και δεν μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα σε κάποιο δίκτυο GSM.
- Universal Mobile Telecommunications System – UMTS: Το UMTS (3G) είναι το κυψελωτό σύστημα κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς που έχει εξελιχθεί και για χρήση στην τεχνολογία τέταρτης γενιάς (4G). Αυξάνει τις δυνατότητες του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και υποστηρίζει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης.
- Long Term Evolution – LTE: Το LTE είναι κυψελωτό σύστημα κινητής τηλεφωνίας βασιζόμενο στα προϋπάρχοντα δίκτυα GSM/EDGE και UMTS, το οποίο αυξάνει τη χωρητικότητα και την ταχύτητα του δικτύου χρησιμοποιώντας νέες τεχνικές διαμόρφωσης. Η αναβάθμισή του σε LTE-Advanced πληρεί τις προϋποθέσεις έτσι ώστε να θεωρείται σύστημα τέταρτης γενιάς (4G).

Τεχνολογία	Πρότυπο	Στρώμα	Εμβέλεια (m)	Ρυθμός Μετάδοσης (bps)
<b>ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ</b>				
Wi-Fi	IEEE 802.11n	HAN,NAN	70 Indoor 250 outdoor	Up to 300 M
ZigBee	IEEE 802.15.4	HAN,NAN	<150	<250 k
WiMAX	IEEE 802.16	NAN,WAN	50K	70 M
Bluetooth	802.15.1	HAN	<100	721 k
Cellular	GSM	NAN,WAN	1 - 10 k	9.6 k
	GPRS	NAN,WAN	1 - 10 k	117 k
	EDGE (2G)	NAN,WAN	1 - 10 k	384 k – 2 M
	UMTS (3G)	NAN,WAN	1 - 10 k	1920 k
	LTE (4G)	NAN,WAN	5-100 k	300 M
RF	UHF	WAN		
	Microwave	WAN	60 k	155 M
<b>ΕΝΣΥΡΜΑΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ</b>				
Ethernet	IEEE 802.3	HAN,NAN	<100	1.5 – 10 M
ADSL2	ITU-T G.992.1 – 5	NAN		8 – 24 M
VDSL	ITU-T G.993.1-2	NAN		50 M
Fiber Optic		WAN	10 - 60 k	155M – 2.5G
PLC	HomePNA ITU-T G.9951–3	HAN	300 phone wiring or >1000 coaxial wiring	320 M
	G.hn ITU-T G.9960	HAN	250 over power line or 400 coaxial wiring	Up to 1 G
	HomePlug IEEE 1901	NAN	<300	14 – 200 M
	PRIME	NAN	>1000	<125 k
	G3	NAN	>1000	<100 k
	Meters and More	HAN,NAN	>1000	<30 k

*Εικόνα 4.5: Τεχνολογίες μετάδοσης δεδομένων, κατάλληλες για εφαρμογές των ΕΗΔ*

#### 4.4.3 Κριτήρια επιλογής τεχνολογίας επικοινωνίας

Το δίκτυο επικοινωνίας μεταξύ παραγωγής, μεταφοράς, διανομής και κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας πρέπει να προσφέρει αμφίδρομη επικοινωνία και διαλειτουργικότητα μεταξύ των εφαρμογών και να χαρακτηρίζεται από αξιοπιστία και μικρές καθυστερήσεις. Απαιτείται υψηλό επίπεδο ασφάλειας για την αποτροπή ηλεκτρονικών επιθέσεων και τη σταθερή και αξιόπιστη λειτουργία ολόκληρου του συστήματος [34]. Οι απαιτήσεις της μετάδοσης πληροφοριών στο ΕΗΔ ποικίλουν ανάλογα με την εφαρμογή και τη διαδικασία που εξυπηρετείται. Κάποιες εφαρμογές δημιουργούν πολύ μεγάλο όγκο πληροφορίας, όπως η μετάδοση των συγκεντρωμένων δεδομένων μέτρησης του AMI σε επίπεδο NAN, ενώ για κάποιες άλλες είναι κρίσιμη η αμεσότητα και η αξιοπιστία της μετάδοσης, όπως η αποστολή δεδομένων που αφορούν την ευστάθεια του συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας. Τα κυριότερα κριτήρια επιλογής της κατάλληλης τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας για τις διάφορες εφαρμογές είναι τα ακόλουθα:



- Εμβέλεια (range)  
αναφέρεται στη μέγιστη απόσταση αποτελεσματικής και αξιόπιστης επικοινωνίας μεταξύ πομπού και δέκτη. Ως μονάδα μέτρησης χρησιμοποιείται το μέτρο (m)
- Ρυθμός μετάδοσης (data rate)  
αναφέρεται στην ταχύτητα μετάδοσης της πληροφορίας από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Ως μονάδα μέτρησης έχει καθιερωθεί το bit per second (bps).
- καθυστέρηση (latency)  
αναφέρεται στο χρονικό διάστημα (λανθάνοντα χρόνο) μεταξύ της χρονικής στιγμής όπου εκκινεί η διαδικασία αποστολής της πληροφορίας και της χρονικής στιγμής όπου ολοκληρώνεται η λήψη της. Μονάδα μέτρησης: sec
- αξιοπιστία (reliability)  
αναφέρεται στο ποσοστό επιτυχίας της μετάδοσης της πληροφορίας χωρίς αυτή να αλλοιωθεί (π.χ. λόγω θορύβου) και χωρίς να υπάρχει απώλεια μέρους της (π.χ. απώλεια πακέτων ψηφιακών δεδομένων)
- κόστος (cost)  
αναφέρεται στο κόστος εγκατάστασης της τεχνολογίας, στο λειτουργικό της κόστος (κατανάλωση ενέργειας, χρήση καναλιών) καθώς και στο κόστος συντήρησης του δικτύου επικοινωνίας.

#### 4.5 Ευφυή Δίκτυα Διανομής- Smart Distribution Systems

Τα δίκτυα διανομής είναι αυτά που θα υποστούν πραγματική μεταμόρφωση κατά τη μετάβαση ενός παραδοσιακού ΣΗΕ σε ολοκληρωμένο ΕΗΔ. Η διανομή είναι το τμήμα της παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας στο οποίο αντιστοιχεί το μεγαλύτερο βάρος εφαρμογής του ΕΗΔ. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, αυτό οφείλεται :

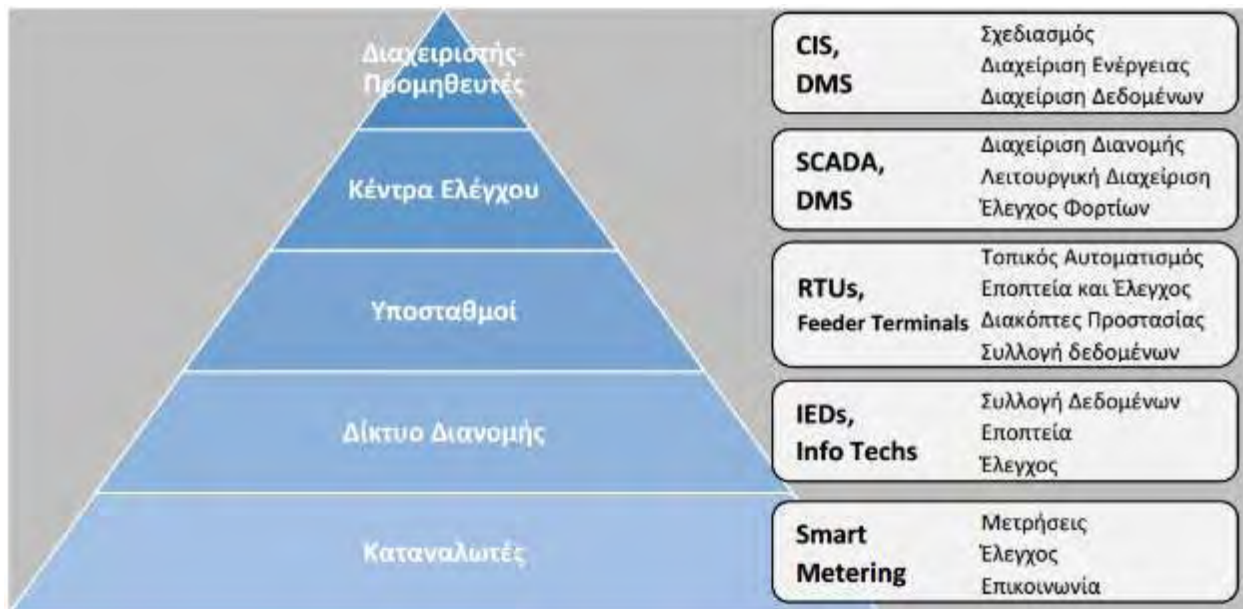
- στο πολύ χαμηλό επίπεδο της μέχρι τώρα εποπτείας και του ελέγχου των δικτύων διανομής
- στο ότι κατέχουν τη συντριπτική πλειοψηφία του συνολικού μήκους των γραμμών του δικτύου
- στο ότι υλοποιούν τη σύνδεση των προμηθευτών Ηλεκτρικής Ενέργειας με την μεγάλη ποικιλία των φορτίων κατανάλωσης και
- στην απαίτηση για αύξηση της διείσδυσης της διεσπαρμένης παραγωγής στα δίκτυα διανομής.

Η θεμελιώδης ωστόσο, απαίτηση για ένα δίκτυο διανομής είναι η διατήρηση της αξιοπιστίας του. Στόχος του Έξυπνου δικτύου διανομής είναι όχι μόνο η διατήρηση αλλά η σημαντική αύξηση της αξιοπιστίας. Σύμφωνα με τον ορισμό του IEEE, η έννοια της αξιοπιστίας του Δικτύου Διανομής, αναφέρεται στην ικανότητα του να επιτελεί τη λειτουργία του χωρίς αποτυχία υπό ορισμένες συνθήκες για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η αξιοπιστία του καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική αφού συναρτάται απευθείας με το επίπεδο ικανοποίησης των πελατών. Στην πράξη, πολλοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση του δικτύου. Για παράδειγμα, τα δίκτυα αυτά είναι συχνά εκτεθειμένα σε φυσικά φαινόμενα

με αποτέλεσμα σε περίπτωση δυσμενών καιρικών συνθηκών η λειτουργία τους να επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις, εξαιτίας της ακτινικής δομής του δικτύου αντί της πολύπλοκης αλλά δικτυωτής/βροχοειδούς μορφής, οποιοδήποτε σφάλμα σε στοιχείο του δικτύου μπορεί να επηρεάσει την τροφοδοσία μεγάλου αριθμού καταναλωτών. Στοιχεία του δικτύου που είναι επιρρεπή σε σφάλματα είναι οι γραμμές και τα καλώδια διανομής, οι μετασχηματιστές ισχύος, οι πυκνωτές και οι ρυθμιστές τάσης. Στην πράξη, το τυπικό δίκτυο διανομής είναι υπεύθυνο για το 80% των προβλημάτων αξιοπιστίας που έχουν αντίκτυπο στους καταναλωτές. Με τη διείσδυση νέων ηλεκτρονικών συσκευών στο δίκτυο σε οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές, η απαίτηση για καλύτερη ποιότητα και συνεχή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας έχει αυξηθεί, θέτοντας νέους στόχους αξιοπιστίας στους Διαχειριστές του δικτύου διανομής. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι η εξασφάλιση της αξιοπιστίας του δικτύου με το βέλτιστο οικονομικό και δυναμικό τρόπο είναι βασικό ζητούμενο, με ταυτόχρονη αποφυγή νέων επενδύσεων για την ενίσχυση ή την επέκτασή του. Στόχος είναι η εκμετάλλευση και ο εκσυγχρονισμός του υπάρχοντος δικτύου και όχι η υπερδιαστασιολόγηση του με την κατασκευή νέων υποσταθμών και νέων γραμμών διανομής.

#### 4.5.1 Αυτοματοποίηση Δικτύου Διανομής (Distribution Automation – DA)

Ο αυτοματισμός του δικτύου διανομής (DA) αναφέρεται στην εποπτεία, τον έλεγχο και τη διαχείριση του ηλεκτρικού δικτύου. Τα Σύγχρονα συστήματα αυτοματισμού υιοθετούν νέες τεχνικές για την ανίχνευση σφαλμάτων, την απομόνωση και την επαναφορά της παροχής ισχύος ώστε σε περίπτωση κάποιου σφάλματος στο δίκτυο να διακόπτεται η παροχή ηλεκτρισμού στο μικρότερο δυνατό τμήμα του συστήματος ενώ οι υπόλοιποι καταναλωτές να τροφοδοτούνται κανονικά μέσω εναλλακτικών διαδρομών ή εναλλακτικών πηγών. Ένα αυτόματο δίκτυο διανομής παρέχει επίσης στον Διαχειριστή του όλες τις απαραίτητες πληροφορίες από τα διάφορα μετρητικά συστήματα. Για να γίνουν οι πληροφορίες αυτές επεξεργάσιμες είναι απαραίτητο ένα σύστημα συλλογής και μεταφοράς των πληροφοριών αυτών, η διαχείριση των οποίων είναι μείζονος σημασίας για τον αυτοματισμό του δικτύου διανομής. Ένα αυτόματο δίκτυο περιλαμβάνει όλα τα επίπεδα, από το διαχειριστή του μέχρι και τον καταναλωτή, με ιεραρχική μορφή όπως στην Εικόνα 4.6. Οι διατάξεις που απαιτούνται αυξάνουν όσο αυξάνεται η ιεραρχία ενώ την ίδια εξέλιξη ακολουθεί και ο όγκος των πληροφοριών.



*Εικόνα 4.6: Τα επίπεδα εφαρμογής της αυτοματοποίησης Δικτύου Διανομής (DA)*

- Αυτοματοποίηση Υποσταθμών (Substation Automation – SA)
- Έξυπνες Ηλεκτρονικές Συσκευές – ΕΗΣ (Intelligent Electronic Device – IED)
- Διακόπτες Αυτόματης Επαναφοράς – Reclosers
- Διακόπτες Απομόνωσης – Sectionalizers
- Σύστημα Διαχείρισης Δικτύου Διανομής (Distribution Management Systems –DMS)
- Ανεξάρτητα Συστήματα Πληροφοριών που αλληλεπιδρούν με το DMS

#### 4.5.2 Οφέλη των Ευφυών Δικτύων Διανομής

Όπως κάθε τομέας του ΕΗΔ, έτσι και τα Ευφυή Δίκτυα Διανομής συμβάλλουν καθοριστικά στη βελτίωση των βασικών χαρακτηριστικών ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, που είναι τα ακόλουθα :

- Αξιοπιστία (Reliability)
- Αποδοτικότητα (Efficiency)
- Ποιότητα παρεχόμενης υπηρεσίας (Quality of Service)

Η αυτοματοποίηση του δικτύου και η χρήση των σύγχρονων συστημάτων διαχείρισης κατά κύριο λόγο λόγω του DMS, επιφέρουν σημαντική βελτίωση των ανωτέρω θεμελιωδών χαρακτηριστικών η οποία μεταφράζεται σε άμεσα αλλά και μακροπρόθεσμα οφέλη για τους Διαχειριστές των δικτύων διανομής, τους προμηθευτές και τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας. Οικονομοτεχνικές μελέτες του οργανισμού EPRI που αφορούν την εγκατάσταση ΕΗΔ στις ΗΠΑ έχουν δείξει ότι η βελτίωση των ανωτέρω χαρακτηριστικών λόγω της εισαγωγής ευφυΐας στα δίκτυα διανομής έχουν θετικό αντίκτυπο τόσο σε οικονομικό όσο και σε κοινωνικό επίπεδο [35]. Στην εικόνα 4.7 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα οφέλη της εισαγωγής ευφυΐας στα Δίκτυα Διανομής ανά είδος βασικής λειτουργίας, με τα αντίστοιχα συστήματα και τον εξοπλισμό που κυρίως συμβάλλουν στο κατά περίπτωση όφελος.



GIS: Geographic Information System

DERMS: Distributed Energy Recourses Management System

CIS: Customer Information System

STLF: Short Term Load Forecasting

LTC: Load Tap Changer Transformer

SE: State Estimation

PFA: Power Flow Analysis

VVC: Volt/Var Control

OMS: Outage Management System

FDIR: Fault Detection Isolation & Restoration

AMI: Advanced Metering Infrastructure

Εικόνα 4.7: Η Συμβολή των Έξυπνων ΔΔ στην βελτίωση των παραμέτρων λειτουργίας ενός ΣΗΕ



## 4.6 Ευφυή Συστήματα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας – Smart Transmission Systems

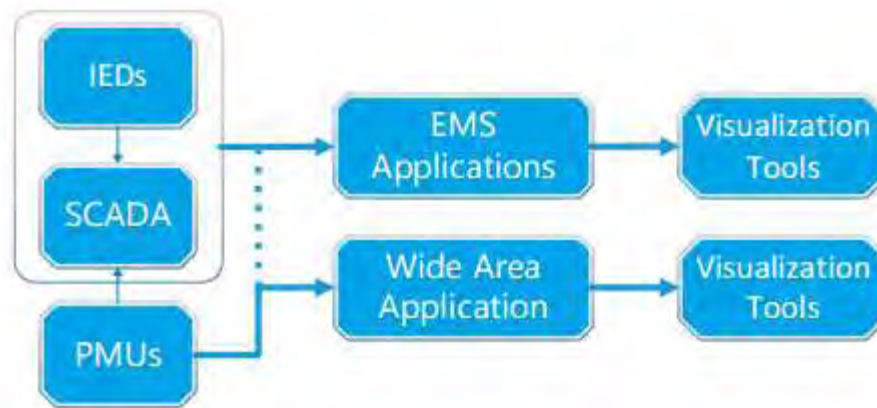
Η μετάβαση από τα συμβατικά ΣΗΕ προς τα ολοκληρωμένα ΕΗΔ, παράλληλα με τη μεταμόρφωση των Δικτύων Διανομής επιτάσσει την επιτάχυνση και εντατικοποίηση του εκσυγχρονισμού των συστημάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Καίτοι τα δίκτυα των συστημάτων μεταφοράς, θεωρούνται τα πλέον σύγχρονα και προηγμένα τμήματα των τρεχόντων ΣΗΕ, ενσωματώνοντας ένα καλό επίπεδο εποπτείας μέσω των συστημάτων SCADA, η εγκατάσταση προηγμένων τεχνολογικών συστημάτων ελέγχου της μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας παραμένει ιδιαίτερα περιορισμένη. Η βελτιστοποίηση της εποπτείας και η ουσιαστική ενσωμάτωση προηγμένων συστημάτων ελέγχου είναι καίριας σημασίας ώστε τα συστήματα μεταφοράς να ακολουθήσουν της αρχές που διέπουν/ πρεσβεύουν τα ΕΗΔ. Οι αρχές αυτές είναι:

- Αύξηση της ικανότητας μεταφοράς ΗΕ των υπαρχόντων δικτύων
- Εξασφάλιση ακόμα καλύτερου επιπέδου ευστάθειας του Συστήματος
- Αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος
- Αύξηση της ασφάλειας του συστήματος
- Μείωση των απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας παράλληλα με:
  - ο την ελαχιστοποίηση της ανάγκης επέκτασης του δικτύου μεταφοράς
  - ο την ελαχιστοποίηση των αναγκών εγκατάστασης νέων συμβατικών μεγάλων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Φαινομενικά, οι ανωτέρω στόχοι είναι ασύμβατοι μεταξύ τους, αφού, μέχρι πριν από τρεις δεκαετίες, η εξομάλυνση της λειτουργίας του συστήματος μεταφοράς ήταν εφικτή μόνο μέσω της υπερδιαστασιολόγησής του, της επέκτασης του δικτύου με νέες γραμμές μεταφοράς και της εγκατάστασης μεγάλων συμβατικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στα μέσα της δεκαετίας του '80, σε χώρες όπως οι ΗΠΑ και η Ιαπωνία, ξεκίνησε η ουσιαστική ενσωμάτωση ενός αρχικού επιπέδου εποπτείας (αρχικά SCADA) και ελάχιστων προηγμένων τεχνολογικών συστημάτων ελέγχου, όπως τα πρώτα FACTS, με αρκετά υψηλό όμως κόστος και χωρίς να έχουν καθοριστικό ρόλο στην εύρυθμη λειτουργία των συστημάτων μεταφοράς. Τη δεκαετία του '90, τα περισσότερα συστήματα είχαν ήδη ωριμάσει τεχνολογικά, αλλά η χρήση τους παρέμενε περιορισμένη λόγω του υψηλού κόστους και της επικρατούσας, ακόμα, λογικής της ενίσχυσης της παραγωγής ενέργειας και της επέκτασης των δικτύων μεταφοράς. Στα σύγχρονα ΣΗΕ, το ισοζύγιο έχει ανατραπεί καθώς η βέλτιστη αξιοποίηση του υπάρχοντος ΣΜ, που οδηγεί ταυτόχρονα σε αξιόπιστη λειτουργία, είναι πλέον, όχι μόνο εφικτή, αλλά και οικονομικά συμφέρουσα σε σχέση με την επέκταση του δικτύου και την εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής. Με την καθολική χρήση αισθητήρων σε όλα τα σημεία του συστήματος μεταφοράς, με την εγκατάσταση βελτιωμένων συστημάτων SCADA, των επαναστατικών συστημάτων μέτρησης με μονάδες PMU, και με τη συγκέντρωση της πληροφορίας σε ένα κεντρικό EMS σύστημα του διαχειριστή, είναι δυνατή η πλήρης εποπτεία του συστήματος και η παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου σε πραγματικό χρόνο. Παράλληλα, ο δυναμικός έλεγχος και η πλήρης εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του γίνονται εφικτά με την ευρεία χρήση των FACTS και της HVDC μεταφοράς.

#### 4.6.1 Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας-(Energy Management System- EMS)

Ένα EMS περιλαμβάνει ένα σύνολο εφαρμογών με σκοπό την παρακολούθηση, τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας στα συστήματα μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, καθώς και το συντονισμό και τη βέλτιστη διαχείριση των μεγάλων μονάδων παραγωγής ενέργειας. Συνήθως, αναφέρεται και ως EMS/SCADA, καθώς οι λειτουργίες παρακολούθησης και ελέγχου προέρχονται από τα SCADA. Το EMS ελέγχεται από το διαχειριστή του Συστήματος Μεταφοράς και βρίσκεται μαζί με τα SCADA στα κέντρα ελέγχου. Όπως και στα DMS, στα EMS ενσωματώνονται εφαρμογές όπως η Ανάλυση Ροής Φορτίου, η Εκτίμηση Κατάστασης, η Πρόβλεψη Φορτίου και τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Το 2011 ο Διεθνής Οργανισμός Προτυποποίησης (ISO) δημοσίευσε το ISO 50001 – EMS με το οποίο καθορίζεται η δομή ενός EMS με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Το πρότυπο είναι βασισμένο στην μεθοδολογία Plan-Do-Check-Act που περιλαμβάνει τις διακριτές φάσεις υλοποίησης : Σχεδιασμός, Εφαρμογή, Έλεγχος, Δράση/Βελτίωση.



Εικόνα 4.8: Ολοκληρωμένο Σύστημα διαχείρισης Ευφυών συστημάτων μεταφοράς

#### 4.6.2 High Voltage Direct Current – HVDC

Η τεχνολογία των HVDC συστημάτων αναπτύχθηκε για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις μέσω γραμμών μεταφοράς ή υποβρύχιων καλωδίων με μειωμένες απώλειες. Το πρώτο HVDC σύστημα μεταφοράς εφαρμόστηκε το 1954 στ Gotland της Σουηδίας για τη διασύνδεση του νησιού με την ηπειρωτική χώρα μέσω υποβρύχιου καλωδίου. Είχε τη δυνατότητα μεταφοράς ισχύος 20MW υπό τάση 100kV. Ακολούθησαν και άλλα έργα όπως αυτό της Σαρδηνίας (1967) και του Nelson River(1973). Στις πρώτες αυτές εφαρμογές χρησιμοποιούνταν ανορθωτές ατμών υδραργύρου. Καίτοι η μεταφορά με HVDC συστήματα ήταν πλέον δυνατή, το κόστος δεν ήταν ακόμη ανταγωνιστικό έναντι των HVAC συστημάτων μεταφοράς. Με την εισαγωγή της τεχνολογίας των θυρίστορ και των μετατροπέων πηγής ρεύματος τα HVDC συστήματα άρχισαν να κερδίζουν έδαφος. Η πραγματική καινοτομία ήλθε στα τέλη του '90 με τη χρήση διακοπτικών στοιχείων με δυνατότητα ελεγχόμενης έναυσης και σβέσης όπως τα IGBT και της PWM διαμόρφωσης όπου και έγινε δυνατός ο ανεξάρτητος έλεγχος της ενεργού και άεργου ισχύος.

Τα HVDC χρησιμοποιούνται κυρίως σε τρεις σημαντικές περιπτώσεις [36]:

- Για τη διασύνδεση μη-συγχρονισμένων δικτύων κρατών, μεγάλων πόλεων ακόμα και νησιών. Συστήματα που λειτουργούν σε διαφορετική συχνότητα αλλά και συστήματα που λειτουργούν στην ίδια συχνότητα και δεν είναι συγχρονισμένα δεν μπορούν να συνδεθούν με AC.
- Για τη μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας από μεγάλες μονάδες παραγωγής σε μεγάλες αποστάσεις. Ενώ το AC είναι σημαντικά φθηνότερο για μικρές αποστάσεις, το HVDC είναι φθηνότερο για μεγάλες αποστάσεις. Η χρήση DC στη μεταφορά ενέργειας καθίσταται αποδοτική (break-even point) για χερσαίες διασυνδέσεις μεγαλύτερες από 400-800km και για υποθαλάσσιες μεγαλύτερες από 40- 80km.
- Για τη χρήση καλωδίων μεγάλου μήκους. Καθώς το μήκος του καλωδίου μεγαλώνει, δημιουργούνται μεγάλα ρεύματα φόρτισης, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η δυνατότητα μεταφοράς ενέργειας.

Τα βασικά συγκριτικά πλεονεκτήματα του DC σε σχέση με το AC είναι τα ακόλουθα:

- Οι DC γραμμές έχουν μικρότερες απώλειες (αποφυγή επιδερμικού φαινομένου (skin effect) και του φαινομένου γειννίας (proximity effect))
- Τα DC συστήματα δεν έχουν περιορισμούς ως προς το μήκος των γραμμών.
- Για την κάλυψη πολύ μεγάλων αποστάσεων όπου απαιτείται μεταφορά υπερυψηλής τάσης, τα DC συστήματα είναι φθηνότερα στην κατασκευή και τη διαχείριση.
- Το DC δεν έχει συχνότητα και ο συντελεστής ισχύος είναι πάντα 1, σε αντίθεση με το AC όπου κυμαίνονται μεταξύ 50 και 60 Hz και από 0 έως 1 αντίστοιχα.
- Το DC δεν εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.
- Η διασύνδεση υπεράκτιων μονάδων παραγωγής και η υπεράκτια διασύνδεση μεταξύ κρατών (πχ Ελλάδα – Ιταλία) είναι εφικτή μόνο με DC.

Η σύνδεση ενός AC Συστήματος Μεταφοράς με ένα HVDC καθώς και η αντίστροφη διαδικασία επιτυγχάνεται μέσω των τριφασικών μετατροπών. Υπάρχουν δύο βασικά είδη τριφασικών μετατροπών που καθιστούν δυνατή τη μεταφορά ενέργειας μέσω HVDC συστημάτων. Οι μετατροπείς πηγής τάσης (voltage source converters – VSC) που υλοποιούνται με διατάξεις διακοπτικών στοιχείων όπως τα IGBTs και τα GTOs και οι μετατροπείς πηγής ρεύματος (current source converters – CSC) που υλοποιούνται με διατάξεις βασισμένες στα θυρίστορ. Η συνηθέστερη διάταξη CSC χρησιμοποιεί τη δωδεκαπαλμική γέφυρα θυρίστορ για οικονομικούς λόγους, ενώ υπάρχουν και διατάξεις με 24, 48 κλπ. παλμούς.



#### 4.6.3 Ευέλικτα Συστήματα Μεταφοράς Εναλλασσόμενου Ρεύματος (Flexible AC Transmission Systems – FACTS )

Η δυνατότητα του συστήματος μεταφοράς στη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζεται από τους ακόλουθους περιορισμούς : (α) ευστάθεια γωνίας, (β) τάση μαγνήτισης, (γ) θερμικοί περιορισμοί, (δ) μεταβατική ευστάθεια, και (ε) δυναμική ευστάθεια. Οι περιορισμοί αυτοί ορίζουν τη μέγιστη ενέργεια που μπορεί να μεταφερθεί χωρίς να προκληθούν βλάβες στις γραμμές μεταφοράς και στο ηλεκτρικό εξοπλισμό. Όπως έχει προαναφερθεί, οι περιορισμοί του συστήματος μπορούν να αντιμετωπιστούν θεωρητικά με την προσθήκη νέων γραμμών και νέων μονάδων παραγωγής, κάτι το οποίο παρουσιάζει απαγορευτικά κόστη επενδύσεων και αντίστοιχη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Τη λύση προσφέρουν τα σύγχρονα ευέλικτα συστήματα μεταφοράς εναλλασσόμενου ρεύματος που αντιμετωπίζουν τους περιορισμούς αυτούς χωρίς να απαιτούνται οι κοστοβόρες επενδύσεις επέκτασης του δικτύου. Τα FACTS είναι μια τεχνολογία βασισμένη στα ηλεκτρονικά ισχύος που ενισχύει τη δυνατότητα ελέγχου και αυξάνει τα όρια της μέγιστης μεταφερόμενης ισχύος στα AC συστήματα μεταφοράς.

Οι ελεγκτές FACTS κατηγοριοποιούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Στα FACTS ελεγχόμενα από θυρίστορ.

Πρόκειται για μετατροπείς που επιτρέπουν την ευέλικτη διαχείριση πηνίων, πυκνωτών ή μετασχηματιστών με ρύθμιση φάσης και απλώς επιτυγχάνουν ταχύτερες αποκρίσεις ζεύξης και καλύτερο έλεγχο από τους κλασικούς διακόπτες. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν :

- ο Τα στατά συστήματα ελέγχου άεργου ισχύος (Static Var Compensators – SVC). Μπορούν να παρέχουν ή να απορροφούν άεργο ισχύ στο σημείο σύνδεσής του ρυθμίζοντας έτσι την τάση της Γραμμής Μεταφοράς στο σημείο αυτό.
- ο Οι ελεγχόμενοι αντισταθμιστές σειράς (Thyristor Controlled Series Capacitors – TCSC). Λειτουργούν ως πηγές τάσης αντιστάθμισης που αυξάνουν την τάση κατά μήκος της γραμμής, επηρεάζοντας το ρεύμα και τη μεταφερόμενη ισχύ.
- ο Οι ρυθμιστές γωνίας φάσης (Phase Shifters – PS) βελτιώνουν την ικανότητα μεταφοράς ενός ΣΜ εκτρέποντας τη ροή ισχύος σε λιγότερο φορτισμένες γραμμές μέσω της μεταβολής της φάσης της τάσης.

- Στα FACTS ελεγχόμενα από μετατροπείς ισχύος.

Οι μετατροπείς ισχύος είναι ουσιαστικά ελεγχόμενες πηγές τάσης (Voltage Source Converter VSC) ή ρεύματος (Current Source Controller- CSC) που υλοποιούνται συνήθως με GTOs (Gate Turn Off thyristors) ή IGBTs (Insulator Gate Bipolar Transistors) τα οποία, σε σχέση με τα θυρίστορ, έχουν την πρόσθετη δυνατότητα της εξαναγκασμένης σβέσης, και της πολύ ταχύτερης απόκρισης. Οι πλέον σύγχρονοι μετατροπείς ισχύος υλοποιούνται και με τα σύγχρονα IGCTs (Integrated Gate Commutated Thyristors). Τα FACTS με μετατροπείς ισχύος έχουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά καθώς επιτρέπουν την έγχυση ή απορρόφηση όχι μόνο άεργου αλλά και ενεργού ισχύος με το δίκτυο. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν :

- ο Οι ελεγχόμενοι σύγχρονοι αντισταθμιστές (STATic synchronous COMPensators – STATCOM) ρυθμίζουν την τάση της γραμμής μέσω άεργης αντιστάθμισης (αντίστοιχα με το SVC)

- Οι ελεγχόμενοι σύγχρονοι αντισταθμιστές σειράς (Static Synchronous Series Compensators – SSSC) λειτουργούν ως πηγές τάσης σε σειρά, παρέχοντας αντιστάθμιση σειράς, ελέγχοντας έτσι άμεσα το ρεύμα της γραμμής (αντίστοιχα με το TCSC)
- Οι ενοποιημένοι ρυθμιστές ροής ισχύος (Unified Power Flow Controllers – UPFC) ελέγχουν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό με άλλα FACTS και τις τρεις παραμέτρους της γραμμής (τάση, σύνθετη αντίσταση και γωνία) ή άμεσα τη ροή ενεργού και άεργου ισχύος στη γραμμή. Αποτελούν συνδυασμό των STATCOM και των SSSC.
- Οι ρυθμιστές ροής ισχύος μεταξύ γραμμών μεταφοράς (Interline Power Flow Controllers – IPFC) εξασφαλίζουν ολοκληρωμένη διαχείριση ενεργού και άεργου ισχύος σε συστήματα πολλαπλών γραμμών έχοντας τη δυνατότητα μεταφοράς ενεργού ισχύος μεταξύ γραμμών, εκτός από άεργο αντιστάθμιση. Αποτελούν συνδυασμό δύο ή περισσότερων SSSC.

Εκτός από την κατηγοριοποίηση με βάση τα ηλεκτρονικά ισχύος (θυρίστορες και μετατροπείς ισχύος) με τα οποία υλοποιούνται, τα FACTS κατηγοριοποιούνται και ανάλογα με τη συνδεσμολογία τους. Εκτός από τις βασικές λειτουργίες που είναι κοινές για όλα τα FACTS, όπως η απόσβεση των ταλαντώσεων, η εξομάλυνση των κυματομορφών και η δυναμική και μεταβατική ευστάθεια τάσης, η συνδεσμολογία καθορίζει και ορισμένα πρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως:

- Αντιστάθμιση σειράς (series controllers)  
Τα FACTS με αυτόν τον τρόπο σύνδεσης πραγματοποιούν έλεγχο της ροής ισχύος λειτουργώντας ως πηγές τάσης σε σειρά με τις γραμμές, μεταβάλλοντας έτσι τη σύνθετη αντίσταση της γραμμής.
- Εγκάρσια αντιστάθμιση (shunt controllers)  
Τα FACTS κάνουν αντιστάθμιση άεργου ισχύος, ρυθμίζοντας έτσι την τάση του σημείου σύνδεσης.
- Συνδυασμός σειριακής – εγκάρσιας αντιστάθμισης (Combined series – shunt controllers) Τα FACTS κάνουν έλεγχο των ροών ισχύος εγχέοντας ή απορροφώντας ενεργό ή άεργο ισχύ στις Γραμμές μεταφοράς.

#### 4.7 Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο – Grid energy storage

Η αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελεί βασικό συστατικό (παράλληλη εφαρμογή) των Ευφύων Ηλεκτρικών Δικτύων. Η βελτίωση της ευστάθειας, η αύξηση της αξιοπιστίας και η αύξηση της ευελιξίας είναι τομείς στους οποίους τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να έχουν καθοριστική συμβολή κατά τη μετάβαση από τα συμβατικά ΣΗΕ στα ΕΗΔ. Τα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας που είναι μόνιμα συνδεδεμένα στο σύστημα, όπως οι συστοιχίες μπαταριών και οι υπερπυκνωτές μπορούν άμεσα να απορροφήσουν ή να αποδώσουν Ηλεκτρική Ενέργεια στο δίκτυο, συμβάλλοντας στη διατήρηση των τοπικών ορίων ευστάθειας και στην αδιάλειπτη παροχή ισχύος σε περίπτωση διακοπών. Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μεγάλης κλίμακας, όπως τα συστήματα αντλησιοταμίευσης, δίνουν τη δυνατότητα δυναμικής παρέμβασης στις καμπύλες παραγωγής και φορτίου ενός ΣΗΕ. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η συνεισφορά των συστημάτων

αποθήκευσης ενέργειας στην αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς μπορούν να προσδώσουν ευελιξία τόσο στο χρόνο όσο και στην ισχύ έγχυσης ηλεκτρικής ενέργειας, που έχει παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές, στο δίκτυο. Στη συνέχεια, ακολουθεί αναλυτικά η συνεισφορά των συστημάτων αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας σε επίπεδο λειτουργίας του δικτύου, καθώς και μία αναφορά της συμβολής τους σε επίπεδο λειτουργίας κτιρίου ή μικροδικτύου.

#### 4.7.1 Χαρακτηριστικά συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και η συνεισφορά τους στο δίκτυο

Συμβολή στη διατήρηση ευστάθειας του ΣΗΕ και της ποιότητας παρεχόμενης ισχύος

- Τα συστήματα αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας συμβάλλουν στην ευστάθεια συχνότητας και τάσης του συστήματος και στην ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος μέσω της προσφοράς πρωτεύουσας (5- 15 sec) και δευτερεύουσας (15-90 sec) εφεδρείας, ανάλογα με την τεχνολογία αποθήκευσης.
- Συμβάλλουν στην τοπική ρύθμιση της τάσης, καθώς αποτρέπουν τόσο τις υπερτάσεις απορροφώντας Ηλεκτρική Ενέργεια σε στιγμές χαμηλού τοπικά φορτίου, όσο και τις πτώσεις τάσης αποδίδοντας ενέργεια στο δίκτυο σε στιγμές υψηλού τοπικά φορτίου.

Παροχή εφεδρείας ισχύος στο δίκτυο

- Τα συστήματα αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας παρέχουν τριτεύουσα (90sec - 20min) και στατή (20min – 4h) εφεδρεία σε περιόδους αιχμής φορτίου

Συμβολή στην αύξηση της αξιοπιστίας του ΣΗΕ

- Η αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας συμβάλλει στη διατήρηση της αξιοπιστίας των συστημάτων μέσω της άμεσης απόκρισης σε σφάλματα και διακοπές του δικτύου (συνδεδεμένες διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας άμεσης απόδοσης ) και μέσω της συνεισφοράς στην αδιάλειπτη παροχή ισχύος (προσφοράς στατής εφεδρείας από μονάδες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας)
- Εξασφάλιση αδιάλειπτης παροχής ισχύος σε επίπεδο μικροσυστήματος έπειτα από διακοπή παροχής από το δίκτυο.

Συμβολή στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας συμβατικών μονάδων παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

- Με την αποθήκευση ενέργειας αποτρέπεται η υπερδιαστασιολόγηση θερμικών μονάδων παραγωγής. Μια διάταξη αποθήκευσης μπορεί να παίζει το ρόλο στρεφόμενης εφεδρείας της θερμικής μονάδας, αποτρέποντας έτσι την υπερδιαστασιολόγηση της μονάδας για την ασφαλή κάλυψη ενδεχόμενης υψηλής αιχμής του φορτίου.

- Πλήρης εκμετάλλευση και ασφαλής λειτουργία θερμικών μονάδων. Οι διατάξεις αποθήκευσης συμβάλλουν στην αποφυγή παραβίασης των τεχνικών ελαχίστων των μονάδων σε περιόδους χαμηλού φορτίου, απορροφώντας το περίσσειμα της παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Βελτιστοποίηση λειτουργίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αύξηση της διείσδυσης τους στο ΣΗΕ

- Με τη χρήση αποθηκευτικής διάταξης αυξάνεται η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών στο μείγμα παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας ενός συστήματος [10], αποθηκεύοντας την πλεονάζουσα ενέργεια στις ώρες χαμηλού φορτίου (π.χ. βραδινές ώρες) και αποδίδοντάς την κατά ελεγχόμενο τρόπο στις ώρες αιχμής του συστήματος.
- Ο συνδυασμός αποθηκευτικής διάταξης με μονάδες ανανεώσιμων πηγών εξομαλύνει τις διακυμάνσεις της παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η ισχύς εξόδου τέτοιων υβριδικών συστημάτων έχει πολύ καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά με αποτέλεσμα τόσο την εξάλειψη κινδύνων για την ευστάθεια του δικτύου όσο και την περαιτέρω αύξηση της διείσδυσης της παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Εξοικονόμηση πόρων και περιορισμός απωλειών Ηλεκτρικής Ενέργειας

- Αποτρέπονται επενδύσεις για εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής με σκοπό την παροχή επικουρικών υπηρεσιών (εφεδρεία, υπηρεσίες διατήρησης ευστάθειας)
- Περιορίζονται οι απώλειες του δικτύου λόγω της δυνατότητας παροχής ισχύος σε πολύ τοπικό επίπεδο
- Η χρήση μέσου αποθήκευσης ΗΕ είναι απαραίτητη στην ομαλή λειτουργία αυτόνομων συστημάτων

Συμβολή στην αλλαγή της αγοράς Ηλεκτρικής ενέργειας

- Η αποθήκευση ενέργειας παρέχει ευελιξία στους προμηθευτές που δραστηριοποιούνται σε ένα σύστημα να αγοράζουν Ηλεκτρική Ενέργεια σε χαμηλές τιμές από τους παραγωγούς και να την διαθέτουν έπειτα στους πελάτες τους όποτε αυτοί την χρειάζονται, με αποτέλεσμα το χαμηλότερο κόστος της προσφερόμενης ενέργειας.
- Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε επίπεδο μεμονωμένης οικίας/επιχείρησης ή και μικροδικτύου καθιστά ευέλικτη τη ζήτηση ενέργειας από το σύστημα, παρέχοντας τη δυνατότητα ελαχιστοποίησης του κόστους μέσω της βέλτιστης εκμετάλλευσης προγράμματος παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας (προγράμματα DR).
- Οι διατάξεις αποθήκευσης αυξάνουν την πραγματική αξία της ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες ανανεώσιμων πηγών λόγω της κατακόρυφης αύξησης της σταθερότητας και της ποιότητας της παραγόμενης ισχύος από τέτοια υβριδικά συστήματα. Τα υβριδικά συστήματα παραγωγής παρουσιάζουν επίπεδα αξιοπιστίας και ποιότητας ισχύος εφάμιλλα με αυτά των συμβατικών μονάδων με αποτέλεσμα να μπορούν να τις ανταγωνιστούν στις αγορές ενέργειας. Από την στιγμή που έχουν την δυνατότητα παραγωγής αξιόπιστης και φτηνής Ηλεκτρικής

Ενέργειας δεν χρειάζονται εγγυημένες τιμές αγοράς με συμβολή κρατικής επιδότησης ούτε ρήτρες εγγυημένης απορρόφησης. Κατ' αυτό τον τρόπο μεταβάλλονται και οι κανόνες της αγοράς.

#### 4.7.2 Ταξινόμηση διατάξεων με βάση τη διάρκεια αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Κάθε εφαρμογή παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας στο δίκτυο απαιτεί διαφορετικό χρονικό διάστημα απόδοσης της ισχύος που κυμαίνεται από μερικά δευτερόλεπτα έως πολλές ώρες. Λόγω της πεπερασμένης ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί από τις διάφορες τεχνολογίες, μια χρήσιμη ταξινόμηση των διατάξεων σχετίζεται με τη χρονική κλίμακα απόδοσης της αποθηκευμένης ενέργειας στο δίκτυο.

- **Διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης**  
Χρησιμοποιούνται για εξυπηρέτηση των αιχμών ζήτησης κατά τη διάρκεια της ημέρας συμβάλλοντας στην ευστάθεια λειτουργίας ενός ΣΗΕ. Μπορούν να προσφέρουν ή να απορροφήσουν ενέργεια για πολύ μικρό χρονικό διάστημα (λίγα δευτερόλεπτα έως μερικά λεπτά). Στις διατάξεις αυτές ανήκουν οι σφόνδυλοι, οι υπερπυκνωτές και τα υπεραγωγίμα υλικά, οι δεξαμενές αποθήκευσης νερού.
- **Διατάξεις μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης**  
Χρησιμοποιούνται για χρονικούς ορίζοντες από μερικά λεπτά ως μερικές ώρες. Έχουν το ρόλο στρεφόμενης εφεδρείας, συμβάλλουν στην αύξηση διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στη διαχείριση της παρεχόμενης ισχύος στους καταναλωτές. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι μπαταρίες και οι τεχνολογίες υδρογόνου.
- **Διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης**  
Αφορά διατάξεις αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας από αρκετές ώρες μέχρι εβδομάδες ή και μήνες. Χρησιμοποιούνται για την ικανοποίηση της ζήτησης αιχμής έχοντας αποθηκεύσει ενέργεια σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι τεχνολογίες αντλησιοταμίευσης, η αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα και η αποθήκευση μέσω γεωθερμίας.

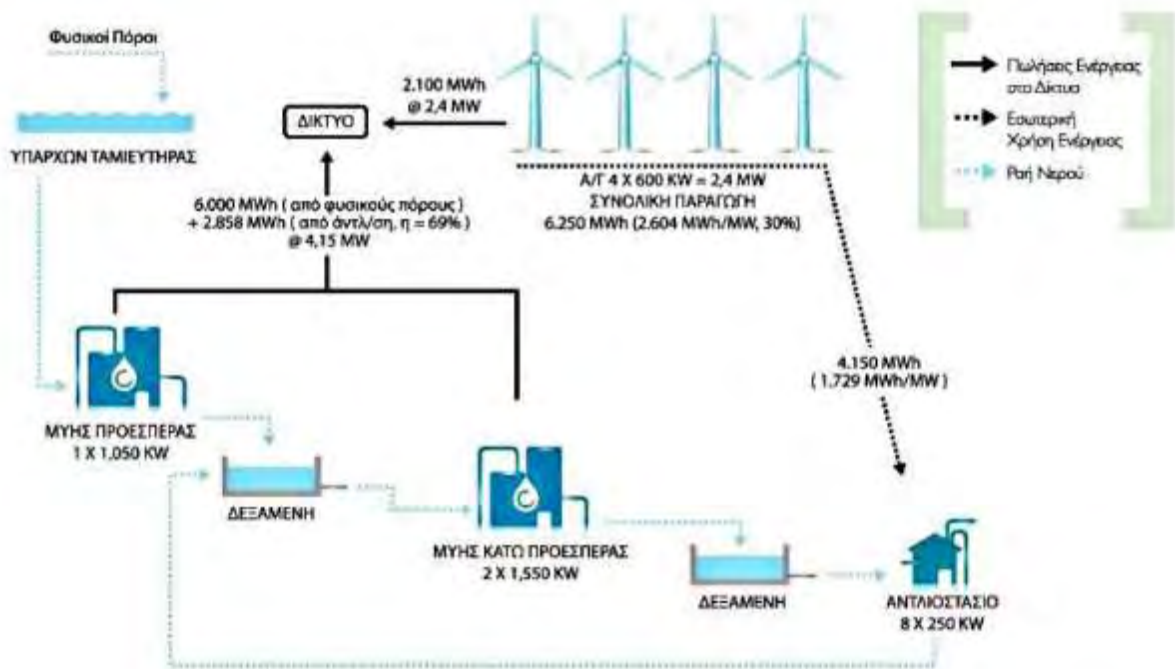
#### 4.7.3 Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες τεχνολογίες αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας, εκάστη με διαφορετικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν το αν η τεχνολογία είναι κατάλληλη για την εκάστοτε εφαρμογή. Τα χαρακτηριστικά αυτά σχετίζονται με το χρόνο φόρτισης, το χρόνο απόδοσης/εκφόρτισης, την ικανότητα αποδιδόμενης ισχύος, την αμεσότητα/διαθεσιμότητα στην απόδοση ΗΕ, το κόστος επένδυσης, την αξιοπιστία και τη διάρκεια ζωής τους. Οι διαδεδομένες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας στο δίκτυο είναι οι ακόλουθες :

- Αντλησιοταμίευση (Pump – hydro storage)

Η αντλησιοταμίευση αποτελεί την πλέον διαδεδομένη μέθοδο για κεντρική αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας σε επίπεδο δικτύου. Είναι μια τεχνολογία που εκμεταλλεύεται την υψομετρική διαφορά δύο δεξαμενών. Σε περιόδους υψηλής ζήτησης ενέργειας το νερό που είναι αποθηκευμένο στην υψηλότερα τοποθετημένη δεξαμενή απελευθερώνεται προς τη χαμηλότερα τοποθετημένη δεξαμενή διερχόμενο μέσα από ένα υδροστρόβιλο που παράγει ενέργεια (εκφόρτιση). Σε περιόδους χαμηλής ζήτησης (off-peak periods) χρησιμοποιείται σύστημα αντλίας-στροβίλου για να ανεβάσει το νερό από το χαμηλότερο στο υψηλότερο επίπεδο (φόρτιση). Προς το παρόν, αν και η αντλησιοταμίευση μπορεί να δώσει υψηλή χωρητικότητα ενέργειας με χαμηλό κόστος δεν χρησιμοποιείται όσο θα ήταν αναμενόμενο, με τη χρήση της να περιορίζεται σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας μεγάλης κλίμακας. Σύμφωνα με έρευνα του EPRI η αντλησιοταμίευση αντιπροσωπεύει παγκοσμίως το 99% της κεντρικής αποθήκευσης ενέργειας σε επίπεδο δικτύου φθάνοντας περίπου τα 127GW σε συνδυασμό ορισμένες φορές με φράγματα νερού. Η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος κυμαίνεται μεταξύ 70% και 80%.

Στην Ελλάδα λειτουργούν δύο υδροηλεκτρικοί σταθμοί με συστήματα αντλησιοταμίευσης. Του Θησαυρού στο υδροηλεκτρικό συγκρότημα Νέστου με εγκατεστημένη ισχύ 384MW και της Σφηκιάς στο υδροηλεκτρικό συγκρότημα Αλιάκμονα με εγκατεστημένη ισχύ 315MW [37]. Παράλληλα, βρίσκεται υπό κατασκευή το Υβριδικό Ενεργειακό Έργο της Ικαρίας. Πρόκειται για το πρώτο έργο του είδους του στην Ελλάδα αλλά και από τα πρώτα παγκοσμίως, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 6.55MW. Συνδυάζει δύο διαφορετικές μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την αιολική και την υδροηλεκτρική ενέργεια. Η Ηλεκτρική Ενέργεια για την άντληση του νερού θα παρέχεται αποκλειστικά από το αιολικό πάρκο ισχύος 2.4MW, ενώ οι υδροστρόβιλοι θα παρέχουν ισχύ 4.15MW.



**Εικόνα 4.9: Σχηματική Αναπαράσταση Υβριδικού Ενεργειακού Έργου Ικαρίας**

- Μπαταρίες

Οι μπαταρίες ή συσσωρευτές αξιοποιούν το χημικό τρόπο αποθήκευσης ενέργειας. Χρησιμοποιούνται κυρίως για αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας στον οικιακό και εμπορικό τομέα. Η χωρητικότητα, η απόδοση και η διάρκεια ζωής των μπαταριών ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την τεχνολογία τους.

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος είναι οι πλέον διαδεδομένες παγκοσμίως. Έχουν μικρό κόστος και μικρή διάρκεια ζωής (300 έως 1500 κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης), ενώ τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες αναβάθμισης αυτών των μπαταριών.

Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου (Ni-Cd) ανήκουν στις αλκαλικές μπαταρίες μαζί με τις νικελίου-υβριδίου μετάλλου (Ni-MH) και τις νικελίου-ψευδαργύρου (Ni-Zn). Έχουν υψηλότερο κόστος αλλά διπλάσιο χρόνο ζωής (1000 έως 2000 κύκλους) σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Χρησιμοποιούνται σε απομακρυσμένες περιοχές λόγω της αντοχής τους σε δυσμενή καιρικά φαινόμενα. Σημαντικό μειονέκτημα των μπαταριών Ni-Cd είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής των τοξικών αποβλήτων μετά τη χρήση τους.

Οι μπαταρίες ιόντων-λιθίου (Li-Ion) έχουν μεγάλο κύκλο ζωής, υψηλή απόδοση και μεγάλη πυκνότητα ενέργειας. Είναι μπαταρίες πολύ ελαφρότερες από τις συνηθισμένες, καθώς το λίθιο είναι το ελαφρότερο στερεό στοιχείο. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται και σε εφαρμογές συστημάτων αποθήκευσης υψηλής ισχύος καθώς και στα ηλεκτρικά/υβριδικά οχήματα, πέραν των κλασικών εφαρμογών μικρής κλίμακας όπως των ηλεκτρονικών συσκευών (κινητά τηλέφωνα και φορητοί Η/Υ).

- Σύστημα συμπίεσης αέρα (Compressed Air Energy Storage – CAES)

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για μακροπρόθεσμη και μεγάλης κλίμακας αποθήκευση ΗΕ. Η ισχύς των CAES ξεκινά από τα 50 MW και μπορεί να υπερβεί τα 300MW με απόδοση περίπου 80%. Η βασική ιδέα της μεθόδου είναι ότι αέρας μπορεί να συμπιεστεί στα 800 ως 1600psi σε υπόγειο αεροστεγή ταμιευτήρα και να αποσυμπιεστεί ώστε, κινώντας ένα αεριοστρόβιλο, να παραγάγει Ηλεκτρική Ενέργεια. Η συμπίεση γίνεται σε περιόδους εκτός αιχμής με χαμηλή τιμή ρεύματος και η εκτόνωση σε περιόδους αιχμών φορτίου. Η συγκεκριμένη τεχνολογία, αν και αξιόπιστη, με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, περιορίζεται σε μεγάλα έργα παγκοσμίως, καθώς απαιτούνται υψηλές επενδύσεις και κατάλληλοι γεωλογικοί σχηματισμοί για την εγκατάσταση τέτοιων μονάδων. Πρόσφατα, έχει αναπτυχθεί η τεχνολογία transportable-CAES ή micro-CAES που χρησιμοποιεί τεχνητές δεξαμενές μικρότερης χωρητικότητας στην προσπάθεια μείωσης της απαιτούμενης ισχύος και εκμετάλλευσης της αιολικής παραγωγής.

- Στρεφόμενες μάζες – Σφόνδυλοι

Στα συστήματα αυτά η αδράνεια μιας στρεφόμενης μάζας (flywheel) χρησιμοποιείται για την αποθήκευση ενέργειας σε κινητική μορφή. Χρησιμοποιούνται για εφαρμογές παροχής ισχύος και ενέργειας για μικρά χρονικά διαστήματα και κυρίως για την παροχή στρεφόμενης εφεδρείας. Ο χρόνος εκφόρτισης αυτών των διατάξεων κυμαίνεται μεταξύ λίγων sec και μέχρι 15-30min. Αντίθετα από τις μπαταρίες, τα συστήματα στρεφόμενων μαζών δεν είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία και η απόδοσή τους μπορεί να φθάσει ως και 80-90% χωρίς ιδιαίτερη πτώση της απόδοσής τους με το χρόνο ζωής τους ο οποίος φθάνει τα 15 – 20 χρόνια. Το είδος της



λειτουργίας του σφονδύλου, δηλαδή αν απορροφά ενέργεια από το δίκτυο ή αν παρέχει, εξαρτάται από τις στιγμιαίες συνθήκες του δικτύου και καθορίζεται από το διαχειριστή.

- Υπερπυκνωτής (supercapacitor) και Υπεραγώγιμα πηνία (Superconducting Magnetic Energy Storage – SMES)

Οι υπερπυκνωτές έχουν χωρητικότητα και ενεργειακή πυκνότητα χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες των κοινών πυκνωτών. Χρησιμοποιούνται για βελτίωση του συντελεστή ισχύος και υποστήριξη ενεργού και αέργου ισχύος στα Συστήματα Μεταφοράς και τα Δίκτυα Διανομής. Μπορούν να παρέχουν ισχύ της τάξης των 100kW, ενώ η ενέργειά τους είναι δυνατόν να διοχετευτεί μέσα σε κλάσματα του δευτερολέπτου έως και ένα λεπτό. Η απόδοσή τους κυμαίνεται μεταξύ 85% και 98%.

Τα υπεραγώγιμα πηνία αποθηκεύουν ενέργεια μέσω του μαγνητικού τους πεδίου που δημιουργείται με την είσοδο ανορθωμένου DC ρεύματος στα πηνία από υπεραγώγιμα καλώδια, σχεδόν μηδενικής αντίστασης. Η απόδοση αυτών των συστημάτων φθάνει το 97% και αποδίδουν ισχύ από 2 έως 10MW. Κύριο χαρακτηριστικό τους αποτελεί η στιγμιαία διάθεση ισχύος, ενώ η διάρκεια ζωής τους δεν επηρεάζεται από τις συχνές φορτίσεις και εκφορτίσεις. Το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας παραμένει ακόμα υψηλό καθώς απαιτείται ισχυρή ψύξη λόγω των ηλεκτρονικών ισχύος που χρησιμοποιούν.

Και τα δύο παραπάνω συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως στις ΗΠΑ στα Συστήματα Μεταφοράς και τα Δίκτυα Διανομής, ενώ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για υποστήριξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

- Τεχνολογίες Υδρογόνου

Σήμερα χρησιμοποιούνται πολλοί τρόποι για την αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας μέσω υδρογόνου που διακρίνονται ανάλογα με τη διάρκεια αποθήκευσης σε βραχυπρόθεσμες, μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες. Οι κυψέλες καυσίμου (fuel cell) αποτελούν τις κυριότερες διατάξεις. Χρησιμοποιούνται κυρίως στον τομέα της μεταφοράς και στην παραγωγή ενέργειας χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Το κύριο χαρακτηριστικό ενός κελιού καυσίμου είναι η ικανότητά του να μετατρέπει απευθείας τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική με πολύ υψηλά ποσοστά απόδοσης, υψηλότερα από οποιοδήποτε άλλο θερμομηχανικό σύστημα, και μάλιστα με μοναδικό κατάλοιπο της διεργασίας το καθαρό νερό. Επιπλέον, η όλη διάταξη λειτουργεί σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα θορύβου από τη στιγμή που δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη όπως υπάρχουν στις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η αποθήκευση με συμπίεση και με υδροποίηση υδρογόνου καθώς και σε προηγμένα υλικά και μεταλλικά υδρίδια που συγκρατούν άτομα υδρογόνου είναι οι ευρέως διαδεδομένες μέθοδοι αποθήκευσης.

- Αποθήκευση Θερμικής ενέργειας

Η θερμική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί με τρεις τρόπους.

(α) Με τη μορφή της αισθητής θερμότητας (storage of sensible heat). Στα συστήματα αυτά η ενέργεια αποθηκεύεται σε στερεό ή υγρό μέσο το οποίο ψύχεται ή θερμαίνεται χωρίς να αλλάζει η φάση του υλικού. Αποτελεί την πλέον διαδεδομένη μέθοδο θερμικής αποθήκευσης με τις δεξαμενές θερμού ή ψυχρού νερού και τη γεωθερμική ενέργεια να είναι το γνωστότερο παραδείγματα.

(β) Με τη μορφή της λανθάνουσας θερμότητας (storage of latent heat). Τα συστήματα αυτά εκμεταλλεύονται την ιδιότητα των υλικών να αλλάζουν φάση (phase change materials – PCMs), απορροφώντας ή εκλύοντας ποσά θερμότητας κάτω από ορισμένη θερμοκρασία. Το πιο γνωστό παράδειγμα είναι η μετατροπή νερού σε πάγο.

(γ) Με θερμοχημικές αντιδράσεις. Αποθηκεύονται μεγάλα ποσά θερμότητας μέσα από αντιδράσεις διάσπασης δεσμών που αποδίδονται σε μεγάλα συστήματα με την ένωση των δεσμών με ελάχιστες απώλειες. Στην αναφορά [38] υπάρχει εκτενής αναφορά σε περισσότερες από 420 εγκαταστάσεις αποθήκευσης ΗΕ σε όλο τον κόσμο.

## 4.8 Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο (Electric Vehicle-EV)

Η εξάρτηση των σύγχρονων κοινωνιών και της διεθνούς οικονομίας από την ηλεκτρική ενέργεια ολοένα και αυξάνεται, αυξάνοντας παράλληλα και τις απαιτήσεις για αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία των συστημάτων ενέργειας. Όπως έχει προαναφερθεί, η τάση για εξηλεκτρισμό του τομέα των μεταφορών δημιουργεί με τη σειρά της νέες συνθήκες στη λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Ο κύριος εκφραστής του εξηλεκτρισμού των ιδιωτικών μεταφορών είναι τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (EV). Τα επόμενα χρόνια, η χρήση EV αναμένεται να παρουσιάσει ραγδαία αύξηση, με τις κύριες αιτίες να συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Η τιμή του πετρελαίου και των παραγώγων του παρουσιάζει αυξητική τάση διεθνώς, ενώ ταυτόχρονα τα κοιτάσματα των ορυκτών καυσίμων σταδιακά μειώνονται
- Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> και άλλων αερίων ρύπων απαιτείται να μειωθούν, με τους διεθνείς οργανισμούς να έχουν ορίσει συγκεκριμένους στόχους (ΟΗΕ, Σύμφωνο του Kyoto)
- Οι διακρατικές ενώσεις (ΕΕ) έχουν θεσπίσει νομικά πλαίσια που προωθούν την ανάπτυξη της αγοράς EV όπως το αντικίνητρο των τελών CO<sub>2</sub> και η επιδότηση των βιομηχανιών που εμπλέκονται στην κατασκευή των EV
- Τα διάφορα κράτη προσφέρουν κίνητρα στους αγοραστές EV (απαλλαγή από τέλη ταξινόμησης και τέλη κυκλοφορίας)
- Οι τεχνολογίες μπαταριών ωριμάζουν, λόγω του ότι έχουν δοθεί λύσεις στην ασφαλή λειτουργία τους και στη διαχείριση του βάρους και του όγκου τους
- Η αυτονομία των EV θεωρείται αποδεκτή για αστικές μετακινήσεις
- Το κόστος κατασκευής τους, άρα και η τιμή πώλησης, αναμένεται να μειωθούν λόγω της ωρίμανσης των τεχνολογιών και εξαιτίας της οικονομίας κλίμακας

Το μείζον ερώτημα για τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ποιές αλλαγές θα επιφέρει η εμφάνιση των EV και πόσο αυτές μπορούν να επηρεάσουν την εύρυθμη και αποδοτική λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Με την αναμενόμενη ραγδαία αύξηση της χρήσης EV στις αστικές μετακινήσεις, τα αθροιστικά φορτία των EV μπορούν να αποτελέσουν ένα πολύ μεγάλο κίνδυνο για την ευστάθεια και την αξιοπιστία των συστημάτων, αν η φόρτισή τους πραγματοποιείται τυχαία και ανεξέλεγκτα. Ενδεικτικά, οι εκτιμώμενες ημερήσιες ανάγκες ενός EV σε ΗΕ είναι της τάξης των 8-10kWh, όσο περίπου και η μέση ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά νοικοκυριό στην Ελλάδα το 2012 που ήταν 10.27kWh (μέση ετήσια κατανάλωση 3750kWh [39]). Αυτό σημαίνει ότι με την αύξηση των EV σε ένα αστικό περιβάλλον, η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθεί σημαντικά. Επιπλέον, η φόρτιση των EV πραγματοποιείται υπό υψηλή ισχύ με αποτέλεσμα οι επιπτώσεις στην καμπύλη φορτίου της πόλης να είναι ακόμα μεγαλύτερες σε σχέση με την επίδραση στη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Μία μη αποδεκτή λύση είναι η κοστοβόρα αναβάθμιση της παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας και η επέκταση των Συστημάτων Μεταφοράς και Δικτύων Διανομής ώστε να μπορούν να αντεπεξέλθουν στις νέες απαιτήσεις ισχύος και ενέργειας. Εκτός από τις υψηλές απαιτήσεις σε μακροχρόνιες επενδύσεις, η λύση αυτή δεν συμβαδίζει και με την ανάγκη μείωσης των εκπομπών αερίων ρύπων και την αειφορία στη χρήση των πηγών ενέργειας.

Η ελεγχόμενη, από πλευράς χρόνου και από πλευράς ισχύος φόρτιση, καθώς και η παράλληλη χρήση των EV ως ευέλικτων μέσων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να αντιμετωπίσουν τις προαναφερθείσες προκλήσεις. Ως προς το χρόνο, τα EV πρέπει, κατά κανόνα, να φορτίζονται κατά τις βραδινές ώρες όπου το υπόλοιπο συνολικό φορτίο είναι χαμηλό, ενώ κατά τις ώρες αιχμής (συνήθως 11:00-15:00 και 20:00-22:00), σε περίπτωση ακινησίας, μπορούν να είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο ώστε να αποδίδουν μέρος της αποθηκευμένης ενέργειας στο σύστημα, εφόσον ζητηθεί. Επιπλέον, στις περιπτώσεις όπου απαιτείται φόρτιση των EV κατά τις ώρες αιχμής, αυτή πρέπει να καλύπτεται κατά το δυνατό, από μονάδες ανανεώσιμων πηγών, όπως φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις σε θέσεις στάθμευσης (που προσφέρουν παράλληλα και σκίαση) για να μην επιβαρύνεται η αιχμή του δικτύου. Πέραν του ανωτέρω γενικού κανόνα ορθής χρήσης των EV, απαιτείται ένα σύστημα-διαδικασία που θα διαχειρίζεται ολοκληρωμένα την πληροφορία από τα σημεία τροφοδότησης των EV και από το διαχειριστή του Δικτύου Διανομής και θα ελέγχει τις ροές ηλεκτρικής ενέργειας, επιτυγχάνοντας τη εύρυθμη και αποδοτική λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.

#### 4.8.1 V2G (Vehicle to Grid – Ηλεκτρικό Οχήμα που συνδέεται στο Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας)

Ο όρος V2G περιγράφει το σύνολο των συστημάτων που επιτυγχάνουν την πλήρως εποπτευόμενη και ελεγχόμενη αμφίδρομη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο προς το ηλεκτρικό όχημα και, αντίστροφα, από το ηλεκτρικό όχημα προς το δίκτυο. Η ροή ενέργειας από το δίκτυο προς το όχημα πραγματοποιείται με ελεγχόμενα μεταβαλλόμενη ισχύ για τη φόρτιση της συστοιχίας μπαταριών του οχήματος, ενώ η ροή από το όχημα προς το δίκτυο συμβαίνει όταν το δίκτυο έχει ανάγκη από ηλεκτρική ενέργεια για κάλυψη των εκάστοτε αναγκών του (π.χ. στρεφόμενη εφεδρεία για κάλυψη αιχμής, τοπική ρύθμιση τάσης). Τα συστήματα που υλοποιούν τη διαδικασία V2G περιλαμβάνουν προτυποποιημένα συστήματα ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού σύνδεσης και τροφοδοσίας που παρέχουν την δυνατότητα αμφίδρομης ροής της ΗΕ, καθώς και προτυποποιημένα συστήματα αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ οχήματος και δικτύου. Η διαδικασία V2G ανήκει στις βασικές παράλληλες εφαρμογές των Ευφυών Ηλεκτρικών Δικτύων.

#### 4.8.2 Το E-Vehicle ως μέσο αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας υψηλής απόδοσης

Τα EV θεωρούνται υψηλής απόδοσης μέσα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι συστοιχίες μπαταριών των EV έχουν τις υψηλότερες προδιαγραφές κατασκευής (προστασία από μηχανικές καταπονήσεις, αυστηρός έλεγχος θερμοκρασίας της συστοιχίας, υψηλή διάρκεια ζωής) και τα περισσότερο προηγμένα χαρακτηριστικά λειτουργίας σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες αποθήκευσης με μπαταρίες. Τα αυτοκίνητα πόλης, τα οποία αποτελούν την πλειοψηφία των EV, διαθέτουν πολύ υψηλή χωρητικότητα μπαταριών της τάξης των 17-24kWh, με τη μέση χωρητικότητα να αναμένεται να αυξηθεί στο άμεσο μέλλον, ενώ οι μπαταρίες των EV υψηλών επιδόσεων φθάνουν τις 60-80kWh. Συγκριτικά, ένα κλασικό σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε επίπεδο σπιτιού (Home Storage) έχει χωρητικότητα της τάξης των 3-8 kWh. Επιπλέον, τα EV διαθέτουν πολύ καλά χαρακτηριστικά φόρτισης, καθώς δεν καταπονούνται από τη διακοπτόμενη φόρτιση αλλά ούτε και από τις διακυμάνσεις της ισχύος φόρτισης, και αυτό επειδή είναι ικανές να αντέχουν σε μεγάλες και απότομες διακυμάνσεις του ρεύματος που τις διαρρέει. Είναι σχεδιασμένες να τροφοδοτούν με ακαριαία ρεύματα κινητήρες απόδοσης τουλάχιστον 75kW (φάση πλήρους επιτάχυνσης του οχήματος) και αντίστοιχα στο επόμενο δευτερόλεπτο να μεταβαίνουν σε φάση φόρτισης (φάση επιβράδυνσης).

Σύμφωνα με τις στατιστικές έρευνες, τα οχήματα πόλης παραμένουν ακίνητα/παρκαρισμένα κατά το 95% του χρόνου [40]. Επιπλέον, η μέση απόσταση που διανύει ένα όχημα πόλης είναι περίπου 30-40 km την ημέρα, που σημαίνει ότι υπό συνθήκες συνθήκες δεν χρησιμοποιεί όλη την ενέργεια που μπορεί να αποθηκεύσει, καθώς η αυτονομία του κυμαίνεται μεταξύ 100-160km, και για τα EV υψηλών επιδόσεων μεταξύ 200-300km. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά προσδίδουν χρονική και ποσοτική ευελιξία στις διαδικασίες φόρτισης και απόδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο.

Ένα πρόσθετο χαρακτηριστικό των συστοιχιών μπαταριών των EV είναι η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησής τους σε άλλες εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας (Home/Business Storage). Ακόμα και μετά το χρόνο ζωής τους ως πηγής ηλεκτρικής ενέργειας για τα EV, συνεχίζουν να διατηρούν εξαιρετικά χαρακτηριστικά λειτουργίας ικανά να υπερκαλύπτουν μερικές λιγότερο απαιτητικές εφαρμογές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα EV ως μέσα αποθήκευσης κατατάσσονται στη βραχυπρόθεσμη και στη μεσοπρόθεσμη αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, και ως τεχνολογία αποθήκευσης χρησιμοποιούν τις συστοιχίες μπαταριών ιόντων λιθίου.

Με βάση τα χαρακτηριστικά της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν προαναφερθεί, ένα ορισμένο πλήθος EV μπορεί να προσφέρει τις ακόλουθες επικουρικές υπηρεσίες:

- Συμβολή στην διατήρηση της ευστάθειας του δικτύου παρέχοντας πρωτεύουσα (5sec-15sec) και δευτερεύουσα (15sec-90sec) εφεδρεία
- Συμβολή στην εφεδρεία ισχύος σε περιόδους αιχμής παρέχοντας τριτεύουσα εφεδρεία (90sec-20min)
- Συμβολή στην τοπική ρύθμιση της τάσης καθώς μπορούν να αποτρέψουν τόσο τις υπερτάσεις, απορροφώντας ηλεκτρική ενέργεια σε στιγμές χαμηλού τοπικά φορτίου, όσο και τις πτώσεις τάσης, αποδίδοντας ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο σε στιγμές υψηλού τοπικά φορτίου.

### 4.8.3 V2H (Vehicle to Home) – V2B (Vehicle to Business)

Τα EV λειτουργούν είτε ως καταναλώσεις είτε ως μέσα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και σε επίπεδο οικιών ή επιχειρήσεων. Οι αντίστοιχες διαδικασίες καλούνται V2H (Vehicle to Home) και V2B (Vehicle to Business) και εκτελούνται από τα αντίστοιχα συστήματα διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας (EMS/BMS). Η σημαντική διαφορά της διαδικασίας V2H/V2B με τη V2G έγκειται στο ότι το EV δεν έχει άμεση επικοινωνιακή σύνδεση με το σύστημα, αλλά με τον έξυπνο μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας που αποτελεί την πύλη επικοινωνίας και ανταλλαγής ενέργειας του κτηρίου με το σύστημα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα EV δεν συμμετέχουν άμεσα στη διαδικασία V2G, ενώ παρέχουν τις ακόλουθες υπηρεσίες στο κτήριο:

- Προσφορά άμεσης και αδιάλειπτης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση διακοπής (Back up supply)
- Ενεργή συμμετοχή στην εφαρμογή προγραμμάτων demand response, καλύπτοντας τις ανάγκες του μικροδικτύου σε ηλεκτρική ενέργεια κατά τις ώρες αιχμής οπότε η ενέργεια από το δίκτυο είναι σημαντικά ακριβότερη. Σε αυτή την περίπτωση, τα EV επηρεάζουν θετικά το σύστημα, μειώνοντας την απορρόφηση ηλεκτρικής ενέργειας από τα τις οικίες/επιχειρήσεις, περιορίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο αθροιστικά την αιχμή του συστήματος, καίτοι δεν συμμετέχουν άμεσα στην διαδικασία V2G.

### 4.8.4 Οι σταθμοί φόρτισης EV

Ως σταθμοί φόρτισης EV θεωρούνται οι ειδικές προτυποποιημένες εγκαταστάσεις σύνδεσης των EV με το δίκτυο, που διαθέτουν τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας του EV με το διαχειριστή του δικτύου διανομής και τους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως προαναφέρθηκε, οι μονάδες φόρτισης που βρίσκονται εντός του μικροδικτύου μιας οικίας ή μιας μικρής επιχείρησης δεν συμμετέχουν στη διαδικασία V2G, καθώς δεν υπάρχει άμεση επικοινωνία του EV με το σύστημα, αλλά έμμεση επιρροή του προς αυτό, εκτός αν το EV συνδέεται μέσω δικού του έξυπνου μετρητή και δεν ανήκει στη δικαιοδοσία του Συστήματος Διαχείρισης της Ενέργειας (EMS) του κτιρίου. Αυτή η εκδοχή μπορεί να υλοποιηθεί, για παράδειγμα, στο χώρο στάθμευσης του εταιρικού στόλου EV μιας επιχείρησης που λειτουργεί και ως ανεξάρτητος σταθμός φόρτισης.

Τα επικρατέστερα σημεία εγκατάστασης σταθμών φόρτισης είναι τα υπάρχοντα πρατήρια συμβατικών καυσίμων (στην Ελλάδα υπάρχουν τρεις αντίστοιχοι σταθμοί στην Αττική), οι δημόσιοι χώροι στάθμευσης (στην Ελλάδα είναι εγκατεστημένο δίκτυο ταχυφορτιστών σε έξι χώρους στάθμευσης στην Αττική, και άλλοι δεκαπέντε δημόσιοι σταθμοί ενταγμένοι στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα “Green e Motion”), οι χώροι στάθμευσης μεγάλων επιχειρήσεων (εμπορικά κέντρα, υπεραγορές), τα αεροδρόμια (υπάρχει σταθμός φόρτισης στον διεθνή αερολιμένα «Ελ. Βενιζέλος»), τα λιμάνια κλπ. Ιδιαίτερα διαδεδομένη διεθνώς είναι και η επιδοτούμενη εγκατάσταση δημόσιων σταθμών, τους οποίους διαχειρίζονται δήμοι ή κοινότητες, και που υποχρεωτικά συνδυάζονται με μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από τις οποίες αντλούν την πλειονότητα της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι εμπορικά διαθέσιμοι σταθμοί φόρτισης είναι ενσύρματοι. Προς το παρόν, η ασύρματη (επαγωγική) φόρτιση βρίσκεται σε πειραματικό επίπεδο, καίτοι για πολλούς θεωρείται η λύση που θα επικρατήσει στο μέλλον λόγω της αυξημένης ασφάλειας και ευελιξίας που μπορεί να προσφέρει. Η απλή στάθμευση πάνω σε μια επιφάνεια που επάγει ηλεκτρική ενέργεια μέσω πηνίων στο EV είναι περισσότερο εύχρηστη και ασφαλέστερη από την ενσύρματη σύνδεση καθώς η ύπαρξη καλωδίων και συνδέσεων πάντοτε θα εγκυμονεί κινδύνους ατυχημάτων και πυρκαγιάς.

#### 4.8.5 Εγχώριο νομικό πλαίσιο

Στην Ελλάδα, το νομικό πλαίσιο για την φόρτιση των EV βρίσκεται υπό διαμόρφωση. Η ΡΑΕ, έπειτα από διαβούλευση, κατέθεσε στο Υπ. Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) το Μάιο του 2014 την πρότασή της για τις αλλαγές που πρέπει να γίνουν στο Νόμο 4001/2011 για την ένταξη της φόρτισης των EV στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Στην πρόταση αυτή καθορίζονται τα πλαίσια στα οποία θα γίνεται η εκμετάλλευση των υποδομών φόρτισης, καθώς και το ότι οι προμηθευτές ενέργειας με αποκλειστική δραστηριότητα την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας για φόρτιση EV δεν θα απαιτείται να πληρούν τις προϋποθέσεις έκδοσης άδειας προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας όπως οφείλουν οι γενικοί προμηθευτές.

## 5. Έξυπνοι Μετρητές Ηλεκτρικής Ενέργειας

### 5.1 Ορισμός

Η ανάγκη παρακολούθησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας οδήγησε στη σχεδίαση και κατασκευή διατάξεων που έχουν τη δυνατότητα να μετρούν τα βασικά ηλεκτρικά μεγέθη (ηλεκτρικές τάσεις και ρεύματα) με την επιθυμητή ακρίβεια και να αξιοποιούν τις μετρήσεις αυτές προς υπολογισμό των υπολοίπων ηλεκτρικών μεγεθών της εγκατάστασης (π.χ. ενεργό και άεργη ισχύ). Οι διατάξεις αυτές ονομάζονται έξυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας (Smart Meters). Το γενικό χαρακτηριστικό των έξυπνων μετρητών είναι ότι πραγματοποιούν ψηφιακές μετρήσεις δειγματοληπτώντας τις τιμές ρεύματος και τάσης. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ψηφιακά δεδομένα πραγματικού χρόνου διαθέσιμα προς επεξεργασία, αποθήκευση και μετάδοση.

Οι έξυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους υπάρχοντες συμβατικούς ηλεκτρομηχανικούς μετρητές. Οποιοσδήποτε μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας έχει τη δυνατότητα καταγραφής της καταναλισκόμενης ενέργειας. Ο έξυπνος μετρητής, όμως, εκτός του ότι μετρά με ακρίβεια την τάση και το ρεύμα, μπορεί μετά από κατάλληλη επεξεργασία να υπολογίζει



και παρουσιάζει μεγέθη όπως η καταναλισκόμενη μέση ισχύς, ο συντελεστής ισχύος, οι αρμονικές τάσης και ρεύματος και άλλα μεγέθη που σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια που ενδεχομένως ενδιαφέρουν τους καταναλωτές και προμηθευτές ενέργειας.

## 5.2 Αναμενόμενα οφέλη από την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών

Τα οφέλη που αναμένονται από την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών είναι πολλά, αφορούν όλους τους τομείς της αγοράς ενέργειας και επηρεάζουν έμμεσα το κοινωνικό σύνολο. Τα κυριότερα από αυτά αναλύονται στη συνέχεια [31].

- Οφέλη για τους καταναλωτές
  - Ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο  
Οι έξυπνοι μετρητές προσφέρουν στους καταναλωτές τη δυνατότητα να γνωρίζουν την πραγματική κατανάλωσή τους καθώς είναι σε θέση να παρέχουν ακριβείς πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο (real time metering). Σε αντίθεση με την παλαιότερη αναλογική τεχνολογία μέτρησης, οι έξυπνοι μετρητές είναι ψηφιακά συστήματα που μπορούν να μεταδίδουν περιοδικά (συνήθως ανά 15 min) πληροφορίες κατανάλωσης σε κατάλληλες πλατφόρμες επικοινωνίας (monitor συσκευής, οθόνη συστήματος οικιακής διαχείρισης ενέργειας, οθόνη υπολογιστή, εφαρμογή σε smartphone). Αυτές οι πλατφόρμες παρουσιάζουν σε ένα διαδραστικό φιλικό περιβάλλον γραφήματα με τη μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και το κόστος αυτής, τις πιθανές εκπομπές ρύπων και τις πολιτικές κατανάλωσης. Επομένως, οι καταναλωτές διαθέτουν την πλήρη εποπτεία του ενεργειακού τους προφίλ, αλλά και τη δυνατότητα μεταβολής του. Μέσω της διαρκούς πληροφόρησης και με χρήση κατάλληλων ICT εργαλείων, οι καταναλωτές θα είναι σε θέση να μειώσουν το ενεργειακό τους αποτύπωμα.
  - Δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας  
Εκτός από την πραγματοποίηση μετρήσεων και την αποστολή δεδομένων, οι έξυπνοι μετρητές διαθέτουν και τη δυνατότητα λήψης πληροφοριών/εντολών και αποτελούν την πύλη επικοινωνίας καταναλωτών με τους προμηθευτές. Κάθε καταναλωτής μπορεί να ενημερώνεται σε πραγματικό χρόνο από τον προμηθευτή του για την τιμή χρέωσης της kWh, για ενδεχόμενες προσφορές και εκπτώσεις, για θέματα ασφάλειας (έκτακτες διακοπές παροχής). Αντίστοιχα, και ο καταναλωτής είναι σε θέση να επικοινωνεί με τον προμηθευτή, αποστέλλοντας π.χ. αιτήσεις, παράπονα, ερωτήσεις.
  - Δυνατότητα λήψης εντολών  
Ο έξυπνος μετρητής μπορεί μέσω της πλατφόρμας επικοινωνίας να λάβει και αποθηκεύσει εντολές. Κάθε καταναλωτής ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή, όχι μόνο γνωρίζει το ενεργειακό του προφίλ, αλλά μπορεί να μεταβάλει, να προγραμματίσει και να κατευθύνει την κατανάλωση προς το συμφέρον του. Μπορεί, για παράδειγμα, να προγραμματίσει τις συσκευές του (π.χ. πλυντήριο, κλιματιστικά, εγκατάσταση φόρτισης ηλεκτρικού αυτοκινήτου) να λειτουργούν οικονομικά μεταθέτοντας την κατανάλωση ενέργειας σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Αυτή η δυνατότητα είναι κρίσιμη σε συνθήκες



- απελευθερωμένης αγοράς, όπου οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας προσφέρουν ευέλικτες διαδικασίες τιμολόγησης παρόμοιες με το ισχύον νυχτερινό τιμολόγιο, αλλά με την πρόσθετη δυνατότητα δυναμικής μεταβολής.
- Δυνατότητα απομακρυσμένης εκκίνησης και διακοπής της σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο  
Ο καταναλωτής μπορεί κατά βούληση να ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τη σύνδεση, τόσο για λόγους ασφάλειας όσο και για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας.
  - Ευκολότερη μετάβαση σε άλλο προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας  
Με τους έξυπνους μετρητές παρέχεται η δυνατότητα στους χρήστες να αλλάζουν πάροχο, με παρόμοιες διαδικασίες όπως αυτές της παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Αυτό θα συμβάλει αποφασιστικά στην ενίσχυση του ανταγωνισμού μεταξύ των προμηθευτών, άρα και στη μεγιστοποίηση του οφέλους για τους καταναλωτές.
  - Διαθεσιμότητα προηγμένων τιμολογιακών πολιτικών εκ μέρους των προμηθευτών ΗΕ  
Κατά πρώτον, καταργείται η κατ' εκτίμηση χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Μέχρι τώρα, η χρέωση γίνεται για την ενέργεια που πιθανότατα έχει καταναλωθεί σε ένα δίμηνο μέχρι ο καταμετρητής του παρόχου να προσδιορίσει την ακριβή κατανάλωση. Ο νέος τρόπος τιμολόγησης επί πραγματοποιηθείσας κατανάλωσης ΗΕ θα προσφέρει την ευελιξία και τις προσφορές που προαναφέρθηκαν. Επιπλέον, στα πρότυπα της τηλεπικοινωνιακής αγοράς θα διατίθενται και προπληρωμένα προγράμματα που θα καθιστούν δυνατή την προπληρωμένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας με ελαχιστοποίηση των πάγιων χρεώσεων. Ο καταναλωτής θα γνωρίζει την ενέργεια που έχει καταναλώσει και αυτήν που του απομένει. Αυτός ο τρόπος χρέωσης θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμος σε εξοχικές κατοικίες.
  - Δυνατότητα βελτίωσης της ποιότητας του ηλεκτρικού ρεύματος  
Οι έξυπνοι μετρητές ενσωματώνουν διατάξεις που επιτρέπουν τον αυτόματο έλεγχο και τη βελτίωση των χαρακτηριστικών του ηλεκτρικού ρεύματος. Παρέχουν λειτουργίες εξομάλυνσης της τάσης/συχνότητας και προστασίας από υπερτάσεις και υπερεντάσεις.
  - Συμβολή στην αύξηση της διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο μίας οικίας ή μιας επιχείρησης  
Με τους έξυπνους μετρητές γίνεται ευκολότερη η ενσωμάτωση μικρών μονάδων παραγωγής ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι μικρές ανεμογεννήτριες, σε ένα ενιαίο ενεργειακό σύστημα μικρής κλίμακας. Στο σύστημα αυτό θα ρυθμίζεται η κατανάλωση, η παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές, η αποθήκευση και η ανάκτηση ενέργειας από μέσα αποθήκευσης (ηλεκτρικό αυτοκίνητο, συστοιχία συσσωρευτών), κατά βέλτιστο τρόπο ως προς όφελος του καταναλωτή.
- Οφέλη για τους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας
    - Ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο  
Ο έξυπνος μετρητής αποστέλλει περιοδικά (συνήθως ανά 15 min) κρυπτογραφημένα δεδομένα για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε εξουσιοδοτημένα Κέντρα

- Λειτουργίας, παρέχοντας στον προμηθευτή τη δυνατότητα να γνωρίζει σε πραγματικό χρόνο το φορτίο του δικτύου που διαχειρίζεται.
- ο Παραγωγή ψηφιακών δεδομένων  
Οι έξυπνοι μετρητές παράγουν ψηφιακά δεδομένα που μπορούν να αποθηκευθούν, να μεταδοθούν με αξιοπιστία και ασφάλεια, να ανακτηθούν, να υποστούν επεξεργασία και ανάλυση πολλών επιπέδων. Αυτά τα χαρακτηριστικά των ψηφιακών δεδομένων καθιστούν εφικτή την εφαρμογή πολιτικών ανταπόκρισης στη ζήτηση (Demand Response) και διαχείρισης του φορτίου (Load Management).
- Οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να δημιουργήσουν βάσεις δεδομένων και με κατάλληλους αλγόριθμους επεξεργασίας της πληροφορίας να αποκτήσουν τη δυνατότητα αξιόπιστης πρόβλεψης των αναγκών των πελατών τους, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα, και να αγοράσει τα αντίστοιχα απαιτούμενα μεγέθη ΗΕ που θα απαιτηθούν, με ικανοποιητική ακρίβεια. Ο περιορισμός του επιπλέον κόστους λόγω της ακριβέστερης εκτίμησης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας έχει άμεσο αντίκτυπο και στην τιμολόγηση της προς τους καταναλωτές.
- ο Αμφίδρομη επικοινωνία  
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο έξυπνος μετρητής αποτελεί την πύλη επικοινωνίας του προμηθευτή και του καταναλωτή. Ο προμηθευτής ενημερώνει επί θεμάτων τιμολογίου, νέων προϊόντων, προσφορών και ασφάλειας και δέχεται την αντίστοιχη ανάδραση του καταναλωτή.
  - ο Γίνεται εφικτή η ευελιξία στην τιμολόγηση και η προσφορά νέων προϊόντων στους πελάτες  
Οι προμηθευτές αποκτούν τη δυνατότητα να προσφέρουν εξατομικευμένα προϊόντα που ανταποκρίνονται στις καταναλωτικές ανάγκες και συνήθειες των καταναλωτών και να αποζημιώνονται άμεσα. Η άμεση πληρωμή της καταναλισκόμενης ενέργειας από τους πελάτες προσφέρει την αναγκαία ρευστότητα στους προμηθευτές ώστε να μη χρειάζεται να καταφεύγουν σε δανεισμό για την προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας από την χονδρεμπορική αγορά. Η αποδοτικότερη χρήση των κεφαλαίων και η αποφυγή πληρωμής τόκων δανεισμού εκ μέρους των προμηθευτών έχει ως άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση των τιμών για τον τελικό καταναλωτή.
  - ο Απομακρυσμένη εκκίνηση και διακοπή της σύνδεσης  
Μέσω των έξυπνων μετρητών παρέχεται η δυνατότητα στον πάροχο να εκκινεί και να διακόπτει την παροχή για λόγους ασφάλειας και προστασίας του δικτύου του καταναλωτή. Επιπλέον, σε περιπτώσεις μη τήρησης των υποχρεώσεων εκ μέρους κάποιου, μπορεί να διακόψει αμέσως την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και να την αποκαταστήσει τάχιστα, εφόσον διευθετηθούν οι μεταξύ τους διαφορές.
  - ο Έγκαιρος εντοπισμός και επέμβαση σε περίπτωση κλοπής  
Στις περιπτώσεις όπου οι μετρήσεις που συλλέγονται από τους μετρητές των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκονται σε αναντιστοιχία με τις ενδείξεις των μετρητών παρεχόμενης ενέργειας του δικτύου διανομής, ο προμηθευτής έχει τη δυνατότητα να εντοπίσει ενδεχόμενη κλοπή και να διακόψει αμέσως την παροχή.
  - ο Εξάλειψη της δαπάνης της συμβατικής διαδικασίας καταμέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας Με την εγκατάσταση των έξυπνων μετρητών, ο συμβατικός τρόπος καταμέτρησης της

καταναλωθείσας ενέργειας από υπαλλήλους του παρόχου καταργείται. Παράλληλα, εξαλείφονται και οι περιπτώσεις ανθρώπινου λάθους κατά την καταγραφή που οδηγούν σε λανθασμένες χρεώσεις και προκαλούν προβλήματα στις σχέσεις μεταξύ προμηθευτών και καταναλωτών.

- Οφέλη για το διαχειριστή του δικτύου διανομής
  - Βελτίωση ποιότητας ρεύματος  
Ο διαχειριστής του συστήματος συλλέγοντας από τους έξυπνους μετρητές πληροφορίες για την ποιότητα του ρεύματος που προσφέρει, και σε συνδυασμό με τις μετρήσεις από τις άλλες μετρητικές διατάξεις που είναι εγκατεστημένες στο δίκτυο, μπορεί να ενημερωθεί, να εντοπίσει και να επέμβει άμεσα στα σημεία του δικτύου που αντιμετωπίζουν προβλήματα ως προς την τάση και τη συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος (π.χ. από σφάλματα ή από χρήση βιομηχανικού εξοπλισμού). Ο διαχειριστής του συστήματος έχει, επίσης, τη δυνατότητα να θέσει σε λειτουργία διατάξεις εξομάλυνσης κατά εστιασμένο τρόπο με άμεσα αποτελέσματα. Κατ' αυτόν τον τρόπο, αποφεύγει πιθανές αποζημιώσεις σε πελάτες για καταστροφή μηχανημάτων και εξοπλισμού.
  - Πρόληψη σφαλμάτων και διακοπών ή άμεση αποκατάστασή τους  
Διαθέτοντας τη δυνατότητα άμεσης πληροφόρησης ο διαχειριστής μπορεί να προλαμβάνει σφάλματα, διακοπές και καταστροφές εξοπλισμού. Στην περίπτωση όπου τελικώς υπάρξουν βλάβες, επιταχύνεται ο εντοπισμός και η αποκατάσταση τους.
- Οφέλη για το κοινωνικό σύνολο

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι οι έξυπνοι μετρητές αποτελούν θεμελιώδη εργαλεία για την υλοποίηση του Έξυπνου Δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας (Smart Grid). Αυτό έχει ως απόρροια την έμμεση συμβολή των έξυπνων μετρητών στα ακόλουθα σημαντικά οφέλη που θα προκύψουν από την υλοποίηση του έξυπνου δικτύου.

- Σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της βελτίωσης της καταναλωτικής συμπεριφοράς των καταναλωτών (όπως επιβεβαιώνεται από τα μέχρι σήμερα στοιχεία από την εφαρμογή σε άλλες χώρες, κυρίως στις ΗΠΑ).
- Εξομάλυνση της καμπύλης φορτίου του συστήματος  
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η εξαγωγή και εύκολη διαχείριση και επεξεργασία των πληροφοριών κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας παρέχει τη δυνατότητα εφαρμογής πολιτικών ανταπόκρισης στη ζήτηση (D-R) σε μεγάλη κλίμακα. Ως εκ τούτου, λοιπόν, καθίσταται εφικτή η μετάθεση μέρους της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους χαμηλότερης ζήτησης (load shifting) και η εξομάλυνση των μεγάλου κόστους αιχμών της καμπύλης φορτίου (peak shaving) . Σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση ενέργειας, επιτυγχάνεται μείωση της ανάγκης για επενδύσεις σε νέες μονάδες παραγωγής και σε επεκτάσεις του συστήματος μεταφοράς και διανομής για να ανταπεξέλθουν στη ζήτηση αιχμής.

- Μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων  
Διαθέτοντας πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο, ελαχιστοποιούνται η παραγωγή πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας και οι απώλειες μεταφοράς και διανομής, και αυξάνεται η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το άμεσο αποτέλεσμα είναι μειωμένες εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα από τις θερμικές μονάδες.
- Ευκολότερη εφαρμογή κοινωνικής πολιτικής  
Με την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών διευκολύνονται και επιταχύνονται οι διαδικασίες εφαρμογής κοινωνικής πολιτικής σε ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού. Για παράδειγμα, αν κάποιος καταναλωτής έχει αυξημένες ανάγκες σε ενέργεια λόγω ασθένειας μπορεί άμεσα να επιδοτηθεί και να συνάψει ειδική συμφωνία με τον πάροχο.

## 5.3 Είδη μετρητών

### 5.3.1 Συμβατικός μετρητής

Ο επαγωγικός μετρητής είναι το γνωστό ρολόι που εγκαθίσταται σε κάποιο εξωτερικό σημείο ενός κτιρίου. Η πλειονότητα των υπαρχόντων κτιρίων είναι εξοπλισμένη με ηλεκτρομηχανικούς μονοφασικούς ή τριφασικούς μετρητές. Αποτελούνται από ένα πηνίο τάσης και ένα πηνίο έντασης που διεγείρονται από τη τάση του δικτύου και την ένταση του ρεύματος στο φορτίο του καταναλωτή, ένα δίσκο-δρομέα από αλουμίνιο, του οποίου οι στροφές μεταδίδονται μέσω ενός ελικοειδούς τροχού σε ένα αριθμητήρα, και ένα μαγνήτη πέδησης. Η περιστροφική κίνηση του δίσκου βασίζεται στην αλληλεπίδραση των μαγνητικών ροών (κινητήριες ροές) των πηνίων τάσης και έντασης που μπορεί να θεωρηθούν ως επαγωγική μηχανή δύο φάσεων. Το ένα πηνίο είναι συνδεδεμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να παράγει μαγνητική ροή ανάλογη της τάσης και το άλλο ανάλογη του ρεύματος [32].

Ο επαγωγικός μετρητής λειτουργεί μετρώντας τις περιστροφές ενός μη μαγνητικού αλλά ηλεκτρικά αγώγιμου μεταλλικού δίσκου που ρυθμίζεται να περιστρέφεται με ταχύτητα ανάλογη της ισχύος που διέρχεται από το μετρητή. Ο αριθμός των περιστροφών κατά συνέπεια είναι ανάλογος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται. Αντίστοιχα, το πηνίο τάσης καταναλώνει μικρή και σχετικά σταθερή ισχύ (τυπικά 2 W) η οποία και δεν καταγράφεται από το μετρητή. Το πηνίο ρεύματος καταναλώνει μικρή ενέργεια, ανάλογη του τετραγώνου του ρεύματος που το διαρρέει η οποία, επίσης, δεν καταγράφεται από το μετρητή.

Με ρύθμιση της εσωτερικής φασικής γωνίας των δύο κινητήριων μαγνητικών ροών και της κυκλωματικής διάταξης, επιτυγχάνεται η ροπή στρέψης να είναι ανάλογη της πραγματικής ή της άεργου ισχύος. Για συγκεκριμένη ταχύτητα του δίσκου όπου η κινητήριος ροπή αντισταθμίζεται από τη ροπή πέδησης του μαγνήτη, η ταχύτητα του δίσκου είναι ανάλογη της ισχύος και ο αριθμός των περιστροφών του δίσκου αποτελεί το μέτρο της απορροφούμενης από τον καταναλωτή ενέργειας που καταγράφεται στον αριθμητήρα. Η σταθερά (K) του μετρητή είναι ένας σημαντικός συντελεστής, ο οποίος ευρίσκεται στην

πινακίδα κάθε μετρητή και εκφράζει τη σχέση της ταχύτητας του δίσκου με το φορτίο του καταναλωτή [στροφές/kWh].



Εικόνα 5.1: Συμβατικός Μετρητής Ηλεκτρικής Ενέργειας

### 5.3.2 Έξυπνος Μετρητής

Ένας έξυπνος μετρητής μετρά δειγματοληψία τα βασικά ηλεκτρικά μεγέθη, τάση και ρεύμα. Αξιοποιώντας τα, υπολογίζει σημαντικά μεγέθη που σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια, όπως η ενεργός ισχύς και ο συντελεστής ισχύος. Επιπλέον, ο έξυπνος μετρητής ενσωματώνει διατάξεις εξομάλυνσης της τάσης και της συχνότητας συμβάλλοντας στη βελτίωση της ποιότητας του ρεύματος. Παράλληλα, η ικανότητα αποθήκευσης και συχνής ανανέωσης των ψηφιακών αυτών δεδομένων προσφέρουν στον καταναλωτή τη δυνατότητα καταγραφής του ενεργειακού του προφίλ.



Εικόνα 5.2: Έξυπνος Μετρητής

Τα βασικά συστατικά (hardware) για την υλοποίηση ενός έξυπνου μετρητή είναι ένας αισθητήρας τάσης, ένας αισθητήρας ρεύματος, μια μητρική πλακέτα – μικροεπεξεργαστής (motherboard) και ένας μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό σήμα [33].

Ο αισθητήρας τάσης αποτελεί το απαραίτητο εξάρτημα για τη μέτρηση της τριφασικής τάσης σε μία οικιακή ηλεκτρική εγκατάσταση. Η απαίτηση της μη παρεμβατικής επιτήρησης φορτίων, η αναγκαιότητα της ευκολίας εγκατάστασης της μετρητικής διάταξης στον οικιακό χώρο και το κόστος των υπό επιλογή εξαρτημάτων οδήγησε στην επιλογή ενός μορφοτροπέα τάσης. Ο μορφοτροπέας τάσης (Voltage Transducer) είναι μια ηλεκτρική διάταξη που έχει την ικανότητα να μετατρέπει μια υψηλή τάση σε σήμα τάσης χαμηλού επιπέδου με μόνωση μεταξύ της πηγής εισόδου υψηλής τάσης και του σήματος εξόδου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, καθίσταται δυνατή η μεταφορά με ασφάλεια και αξιοπιστία ενός σήματος τάσης, ανάλογης προς την υπό μέτρηση τάση, από εξοπλισμό υψηλής ισχύος σε συσκευές μέτρησης ή παρακολούθησης τάσης.

Αντίστοιχα, ο μορφοτροπέας ρεύματος είναι ένα ηλεκτρικό εξάρτημα που διαθέτει τη δυνατότητα να ανιχνεύει το ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα καλώδιο και να δημιουργεί ένα σήμα ανάλογο ως προς αυτό. Το παραγόμενο σήμα μπορεί να είναι ρεύμα ή αναλογική τάση ή ψηφιακό σήμα.

Ο μικροεπεξεργαστής ή μικροελεγκτής είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (Integrated Circuit) που είναι το κυρίως υπεύθυνο για τη λειτουργία μιας μετρητικής διάταξης. Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται εκτελώντας μια σειρά από εντολές που είναι υπεύθυνες για τη διασύνδεση μεταξύ του υλικού (hardware). Ο μικροεπεξεργαστής αποτελείται από μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας (cpu), μνήμες (flash memories/SRAM/SDRAM) και θύρες επικοινωνίας (κυρίως usb)

Ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (analog to digital converter - ADC). Ένας έξυπνος μετρητής έχει ως χαρακτηριστικό το ότι διαθέτει τουλάχιστον τέσσερις εισόδους δειγματοληψίας για το ρεύμα και τις τρεις φάσεις της τάσης.

## 5.4 Είδη Μετρητικών Συστημάτων

### 5.4.1 Συμβατική καταγραφή μετρήσεων (Conventional Meter Reading)

Ο συμβατικός τρόπος καταμέτρησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας παρέχει τη δυνατότητα καταγραφής της κατανάλωσης στην καλύτερη των περιπτώσεων ανά μήνα, σε ορισμένες μόνο χώρες. Στην Ελλάδα, η καταμέτρηση γίνεται από τεχνικούς της εταιρίας- παρόχου ανά τέσσερις μήνες. Υπάρχει το ενδεχόμενο σημαντικών αποκλίσεων από την πραγματική κατανάλωση είτε λόγω μη ορθής λειτουργίας του αναλογικού μετρητή είτε λόγω ανθρώπινου λάθους κατά την καταγραφή των ενδείξεων από τον υπάλληλο είτε λόγω λανθασμένης εκτίμησης από την εταιρία στους κατ' εκτίμηση λογαριασμούς.

### 5.4.2 Έξυπνα μετρητικά συστήματα

- Automated Meter Reading (AMR)

Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την αυτόματη συλλογή δεδομένων στα σημεία κατανάλωσης ενέργειας (ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου) με σκοπό την τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο και την ανάλυση των καταναλώσεων. Κάθε στιγμή, ένα AMR σύστημα συλλέγει πληροφορίες που αποστέλλονται μέσω κατάλληλης τεχνολογίας τηλεπικοινωνιακής δικτύωσης σε ένα κέντρο συλλογής δεδομένων (central database).

- Automated Meter Management (AMM) / Automated Meter Infrastructure (AMI)

Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν τη ροή πληροφορίας από και προς τους προμηθευτές ΗΕ. Χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ακρίβεια στη συλλογή δεδομένων και, συνεπώς, μεγαλύτερη ακρίβεια στην τιμολόγηση πραγματικού χρόνου (real-time pricing). Επιτρέπουν την απομακρυσμένη σύνδεση/διακοπή του φορτίου και ειδοποιούν με μήνυμα τον καταναλωτή ή και τον πάροχο σε περιπτώσεις αλλοίωσης των μετρήσεων. Ορισμένα σημαντικά χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας είναι τα ακόλουθα:

- ο Περιοδικές μετρήσεις, τυπικά ανά 15 min
- ο Απομακρυσμένη σύνδεση και διακοπή της παροχής ΗΕ
- ο Διαχείριση των διακοπών και επανασύνδεση σε πραγματικό χρόνο με αντίστοιχες ειδοποιήσεις
- ο Ελαχιστοποίηση των απωλειών ΗΕ του συστήματος
- ο Εξισορρόπηση των φάσεων του φορτίου
- ο Ολοκληρωμένος έλεγχος τάσης και άεργου ισχύος
- ο Εντοπισμός και αποτροπή ρευματοκλοπών

### 5.4.3 Meter Data Management System (MDMS)

Για τη λειτουργία των έξυπνων μετρητών είναι απαραίτητο ένα σύστημα διαχείρισης μετρικών δεδομένων (MDMS), το οποίο συλλέγει και αποθηκεύει όλες τις πληροφορίες που αποστέλλουν οι μετρητές μέσω των AMR/AMI συστημάτων σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα που συλλέγονται αποσκοπούν στην αποτελεσματικότερη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου, αρχικά, και του ευφυούς δικτύου, μεταγενέστερα, αλλά και στον εντοπισμό προβλημάτων που συνδέονται με το δίκτυο. Στα συστήματα MDM ενσωματώνονται λειτουργίες όπως:

- Επικύρωση, εκτίμηση και επεξεργασία των εισερχομένων πληροφοριών, πριν αυτές καταχωρισθούν στις βάσεις δεδομένων, προς αποφυγή λαθών που ενδεχομένως υπάρχουν στις μετρήσεις. Επιπλέον, η δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας που προσφέρει το ευφυές δίκτυο επιτρέπει στο MDM σύστημα να ζητεί δεδομένα (on-demand data) από το AMI σύστημα και να τα αποστέλλει, είτε στον αντίστοιχο προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε στο διαχειριστή του δικτύου.
- Δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας και η επαναφορά του συστήματος σε προγενέστερη ημερομηνία ορθής λειτουργίας (backup & recovery)
- Επαναφορά του συστήματος σε έκτακτες περιπτώσεις (disaster recovery)
- Αρχειοθέτηση και αποκατάσταση δεδομένων (data archiving and restoration)



Με την εξέλιξη της τεχνολογίας αλλά και του ίδιου του ευφυούς δικτύου, ο όγκος της διακινούμενης πληροφορίας αναμένεται να αυξηθεί εκθετικά. Έτσι, τα MDM συστήματα πρέπει να είναι τεχνολογικά επεκτάσιμα, ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν σε μελλοντικές προκλήσεις [41].

Ανάλογα με τις ανάγκες της αγοράς στην οποία εκάστοτε απευθύνονται, στα MDM συστήματα μπορεί να ενσωματωθεί μεγάλο πλήθος εφαρμογών σε επίπεδο λογισμικού. Ορισμένες συχνές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται και από τις εταιρείες που παρέχουν προγράμματα MDMS είναι οι εξής:

- **Advanced Billing**  
Εφαρμόζονται διάφορες πολιτικές τιμολόγησης όπως Time Of Use (TOU), Critical Peak Pricing (CPP), Peak Day Pricing (PDP) και άλλες.
- **Validation Estimation Editing (VEE)**  
Η επικύρωση, η εκτίμηση και η επεξεργασία των δεδομένων παρέχουν αξιοπιστία και ακρίβεια στις μετρήσεις που προέρχονται από τα AMI συστήματα.
- **Outage Management System (OMS)**  
Σε περιπτώσεις διακοπών παροχής ρεύματος, το σύστημα MDM ειδοποιεί με ηχητικά μηνύματα με στόχο την ταχεία διάγνωση του προβλήματος. Η αποκατάσταση γίνεται είτε απομακρυσμένα είτε, σε περίπτωση φυσικής καταστροφής, με επιτόπια ανθρώπινη παρέμβαση.
- **Customer Information System (CIS)**  
Καταγράφεται το ενεργειακό προφίλ των πελατών παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για D-R και load management προγράμματα.
- **Data Synchronization**  
Συγχρονισμός δεδομένων κατανάλωσης με συχνές μετρήσεις κάθε 15 min.



Εικόνα 5.3: Σύστημα απεικόνισης MDMS λογισμικού της εταιρείας Toshiba

## 5.5 Εφαρμογές που προϋποθέτουν την ύπαρξη έξυπνων μετρητών

Λόγω των πλεονεκτημάτων που διαθέτουν οι έξυπνοι μετρητές, προσφέρουν τη δυνατότητα υλοποίησης σημαντικών εφαρμογών αυτοματισμού και έξυπνης διαχείρισης των συστημάτων ενός κτιρίου ή μιας εγκατάστασης. Οι δυνατότητες των έξυπνων μετρητών συμβάλλουν σημαντικά στην αποδοτική διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας μίας οικίας/επιχείρησης λόγω της συλλογής δεδομένων κατανάλωσης και της δυνατότητας αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ των διαχειριστών ενός κτιρίου και των προμηθευτών. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι κυριότερες από αυτές τις εφαρμογές [34].

- Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας για Κτίρια (Energy Management System (EMS) for buildings)
- Συστήματα Απεικόνισης και Εύκολης Πρόσβασης σε πληροφορίες HE (In-Home Displays and Access to Energy Info (IHD))
- Εφαρμογές και Συσκευές Άμεσης Σύνδεσης στο Δίκτυο EMS (Grid-Ready Appliances and Devices (DR-Ready))
- Ανοικτό Σύστημα Αυτόματης Απόκρισης Ζήτησης (Open Automated Demand Response (openADR))
- Αποθήκευση HE (Energy Storage)

## 5.6 Κίνδυνοι και θέματα που χρήζουν προσοχής και μελέτης

Η χρήση έξυπνων μετρητών εγείρει ζητήματα που χρήζουν προσοχής και περαιτέρω μελέτης. Αυτά τα ζητήματα σχετίζονται με:

- Την προστασία των προσωπικών δεδομένων των καταναλωτών.  
Για την εξασφάλιση εμπιστευτικότητας απαιτείται να υπάρχει η διαβεβαίωση ότι μόνο εξουσιοδοτημένα άτομα θα έχουν πρόσβαση σε προσωπικά δεδομένα των πελατών. Ένα ισχυρό εργαλείο που διατίθεται για το σκοπό αυτό είναι η κρυπτογράφηση των δεδομένων, μέσω της οποίας τα προς αποστολή δεδομένα μετασχηματίζονται σε μη-αναγνωρίσιμη μορφή και αποκρυπτογραφούνται και επανέρχονται στην αρχική τους μορφή μόνο από εξουσιοδοτημένους παραλήπτες. Επιπλέον, πέραν των τεχνικών διασφάλισης ιδιωτικότητας και ανωνυμίας, χρειάζεται και ένα ισχυρό νομοθετικό πλαίσιο που θα αποτρέπει την παραβίαση ή ακόμα και τη δημοσιοποίηση - πώληση προσωπικών δεδομένων.
- Την προστασία από πιθανές ηλεκτρονικές επιθέσεις  
Λόγω της ύπαρξης πολλών πυλών στο δίκτυο επικοινωνίας των έξυπνων μετρητών εμφανίζεται ο κίνδυνος υποκλοπής ή αλλοίωσης δεδομένων από απομακρυσμένες επιθέσεις στο δίκτυο. Επιπλέον, στην περίπτωση όπου κακόβουλη οντότητα αποκτήσει πρόσβαση στο σύστημα ελέγχου των μετρητών (AMI) έχει τη δυνατότητα πλήρους ελέγχου του ηλεκτρολογικού και μηχανολογικού εξοπλισμού του πελάτη αλλά και μερικό έλεγχο του εξοπλισμού του παρόχου. Σε ακραίες περιπτώσεις, μπορεί να προκύψουν ανεπιθύμητες διακοπές παροχής υπηρεσιών με

κακόβουλη εκμετάλλευση της δυνατότητας απομακρυσμένης σύνδεσης/επανασύνδεσης της παροχής ρεύματος που προσφέρει το ευφυές δίκτυο μέσω των έξυπνων μετρητών.

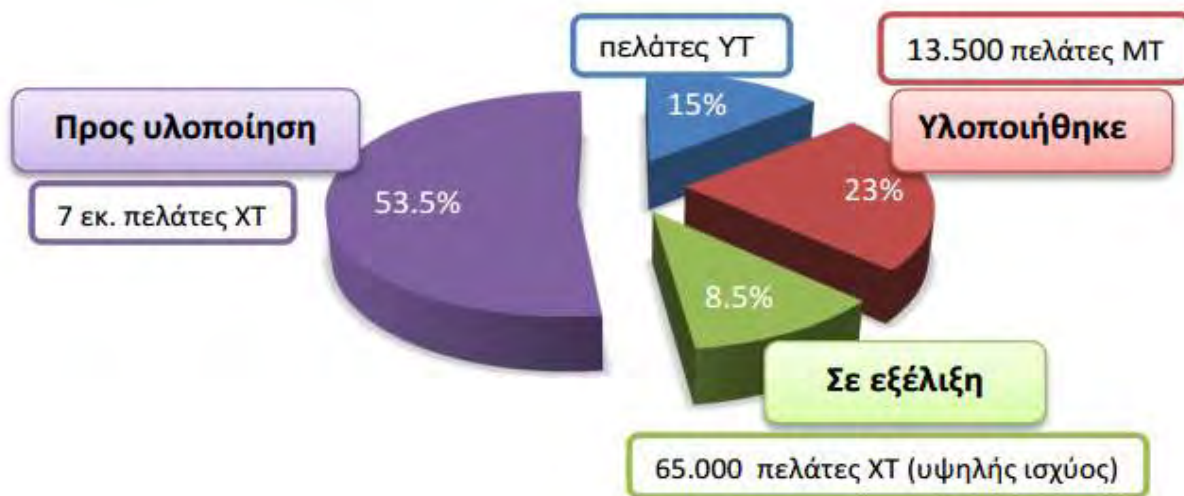
- Την προστασία από πιθανές αυθαιρεσίες των παρόχων ηλεκτρικής ενέργειας (αδικοιολόγητες χρεώσεις και διακοπές παροχής)

## 5.7 Παρούσα κατάσταση στο Ελληνικό Δίκτυο

Τέσσερα είναι τα έργα-τομές για τη διεύθυνση και ευρεία εγκατάσταση Έξυπνων Μετρητών στο ελληνικό ηλεκτρικό δίκτυο [42]:

- Το σύστημα τηλεμέτρησης πελατών μέσης τάσης (ολοκληρωμένο)
- Το σύστημα τηλεμέτρησης μεγάλων πελατών χαμηλής τάσης (σε εξέλιξη)
- Και το πιλοτικό σύστημα τηλεμέτρησης και διαχείρισης της ζήτησης οικιακών καταναλωτών και μικρών επιχειρήσεων (υπό διαβούλευση)
- Το μελλοντικό έργο που θα καλύπτει το σύνολο των 7.500.000 μετρητών της ελληνικής επικράτειας

Τα έργα αυτά είναι της αρμοδιότητας του Διαχειριστή του ΔΕΔΔΗΕ.



*Εικόνα 5.4: Ενέργεια ανά κατηγορία πελατών και πορεία υλοποίησης συστήματος έξυπνης τηλεμέτρησης [35]*

### 5.7.1 Ολοκληρωμένο σύστημα τηλεμέτρησης πελατών Μέσης Τάσης

Το έργο αυτό, προϋπολογισμού 6.4Μ.€, ολοκληρώθηκε το Νοέμβριο του 2009 με χρηματοδότηση από το Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης. Εγκαταστάθηκαν έξυπνοι μετρητές και το αντίστοιχο σύστημα τηλεμέτρησης σε 13.500 πελάτες και παραγωγούς στη μέση τάση. Η τεχνολογία επικοινωνίας που επιλέχθηκε είναι GSM/GPRS και PSTN μέσω τηλεφωνικών γραμμών. Η ΗΕ που απορροφούν αυτοί οι καταναλωτές αποτελεί το 23% του συνολικού φορτίου του συστήματος.

Τεχνικές Προδιαγραφές του εξοπλισμού μετρητικής διάταξης [43]

- Η συλλογή των μετρήσεων των μετρητών φορτίου διενεργείται από το ΔΕΔΔΗΕ, με τηλεμέτρηση μέσω του Συστήματος Αυτόματης Συλλογής Μετρήσεων (AMR)
- Η κλάση ακρίβειας μέτρησης για το μετασχηματιστή έντασης είναι 0.5S, για το μετασχηματιστή τάσης είναι 0.5 (ανοχή σφάλματος  $\pm 0.5\%$  για τάση και ρεύμα). Για τη μέτρηση ενεργού ενέργειας η κλάση είναι 1 και για τη μέτρηση αέργου είναι 2.
- Η αποστολή δεδομένων μπορεί να γίνεται κάθε 1, 5, 10, 15, 30 και 60 min. Έχει επιλεγεί να γίνεται κάθε 15 min.
- Η λήψη των μετρήσεων από τους μετρητές του Δικτύου πραγματοποιείται ημερησίως με τηλεμέτρηση και μηνιαίως με τηλεμέτρηση ή με επιτόπια λήψη των ενδείξεων.
- Οι μετρητές έχουν δυνατότητα επικοινωνίας με Κεντρικό Σταθμό Τηλεμέτρησης, με χρήση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας DLMS
- Οι μετρητές πρέπει να είναι συμβατοί με το πρωτόκολλο Εφαρμογής DLMS/COSEM ( Application Protocol DLMS )
- Πρέπει να διατίθεται πρόγραμμα υποστήριξης σε περιβάλλον Windows σε φορητό υπολογιστή για την παραμετροποίηση του μετρητή μέσω οπτικού interface και πρωτοκόλλου επικοινωνίας DLMS

Σύμφωνα με το ΔΕΔΔΗΕ, η εξοικονόμηση ανθρώπινων πόρων από την εγκατάσταση του συστήματος είναι της τάξης των 100.000 εργατωρών το χρόνο.

### 5.7.2 Σύστημα τηλεμέτρησης μεγάλων πελατών Χαμηλής Τάσης

Το έργο αυτό, συνολικού προϋπολογισμού περίπου 27 Μ. €, δημοπρατήθηκε στο τέλος του 2012 με ανάδοχο την εταιρεία INTRAKAT Α.Ε και με χρηματοδότηση από το Δ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης. Στόχος είναι η εγκατάσταση δικτύου έξυπνων μετρητών σε 65.000 καταναλωτές μέχρι την άνοιξη του 2015. Οι 60.000 από αυτούς έχουν συμφωνημένη ισχύ από 85 έως 250 KVA (κατηγορίες Νο.5 έως Νο.7) και οι 5.000 έχουν συμφωνημένη ισχύ από 35 έως 55 KVA (κατηγορίες Νο.3 και Νο.4). Το έργο αφορά βιοτεχνίες, μεγάλα καταστήματα, ξενοδοχεία, αρδευτικές περιοχές, κοινόχρηστα κτίρια κλπ. Οι καταναλωτές αυτοί αντιπροσωπεύουν το 11% του συνολικού φορτίου ενέργειας της χώρας. Η τεχνολογία επικοινωνίας που επιλέχθηκε είναι GSM/GPRS.

Η υλοποίηση του έργου ξεκίνησε το Φεβρουάριο του 2013 με την κατασκευή του κύριου και του εφεδρικού Κέντρου Τηλεμέτρησης που έχουν ήδη ολοκληρωθεί στις εγκαταστάσεις του ΔΕΔΔΗΕ, αρχικής δυναμικότητας 200.000 μετρητών με δυνατότητα επέκτασης [4].

### 5.7.3 Πιλοτικό σύστημα τηλεμέτρησης και διαχείρισης της ζήτησης οικιακών καταναλωτών και μικρών επιχειρήσεων

Το έργο αυτό βρίσκεται στη φάση της διαβούλευσης με αναμενόμενη ανάθεση του έργου στις αρχές του 2016. Στόχος είναι η εγκατάσταση δικτύου έξυπνων μετρητών σε 160.000 καταναλωτές. Οι περιοχές που έχουν επιλεγεί είναι ο νομός Ξάνθης και τα νησιά Λέσβος, Λήμνος, Αγ. Ευστράτιος και Λευκάδα. Προβλέπεται η κατασκευή δύο νέων Κέντρων Τηλεμέτρησης. Το μείγμα των τεχνολογιών επικοινωνίας θα αποτελείται, με ενδεικτική προτεινόμενη από τον ΔΕΔΔΗΕ ποσόστωση [35], από:

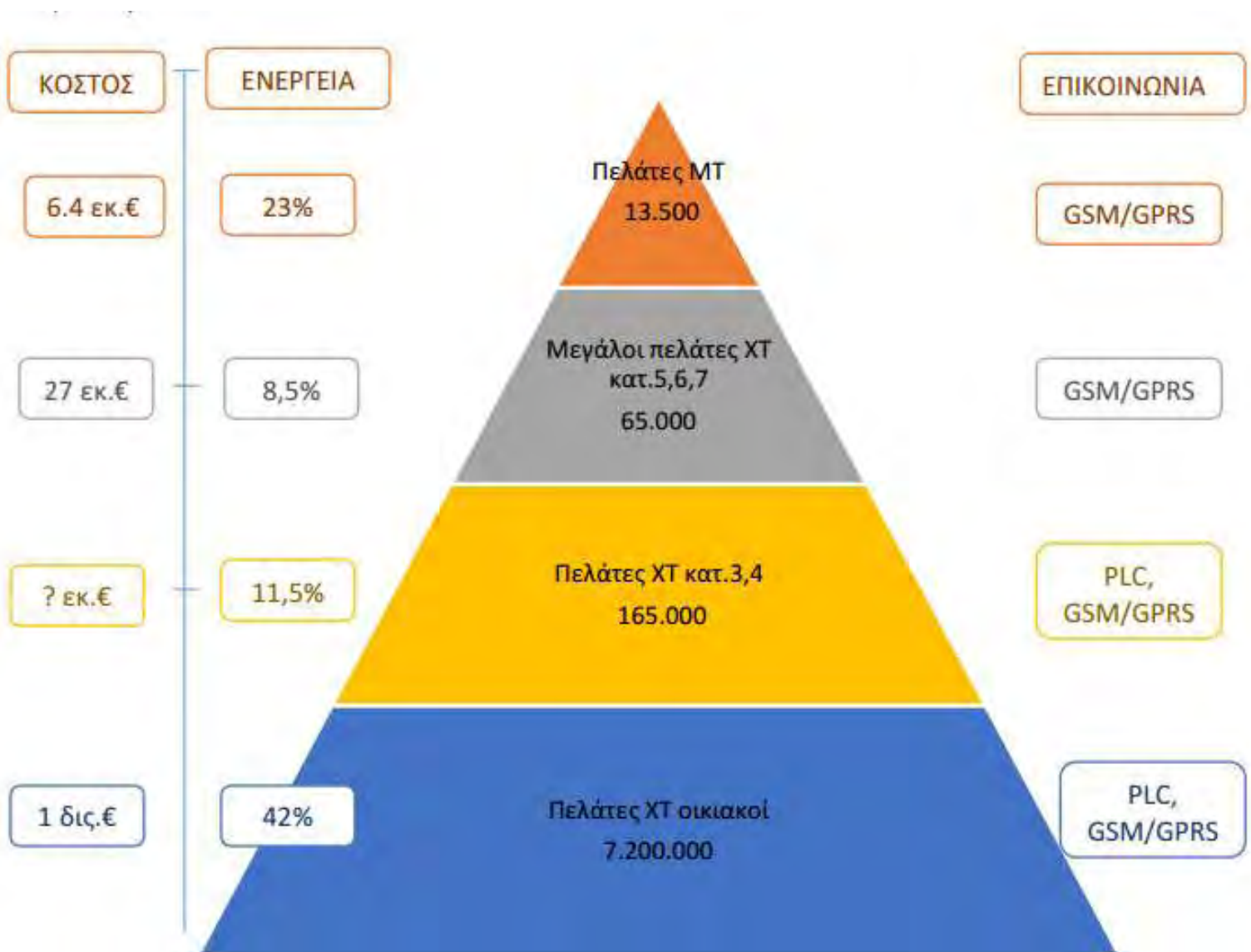
- PLC, 40%
- TCP/IP, 40%
- GSM/GPRS, 10%
- Radio Frequency, 5%
- Επιλογή του ανάδοχου, 5%

Επιπλέον, στο πλαίσιο του έργου προβλέπεται και η προμήθεια 160.000 οικιακών οθονών (Displays) για την παρακολούθηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, του ωριαίου κόστους και της ωριαίας κατανάλωσης από πλευράς καταναλωτών, καθώς και η δημιουργία ιστότοπου εξυπηρέτησης (Web Portal). Παράλληλα, πρέπει να εγκατασταθούν και 4.300 περίπου συσκευές μέτρησης και εποπτείας των Υποσταθμών Διανομής στις περιοχές του Έργου.

### 5.7.4 Μελλοντικοί στόχοι του Διαχειριστή των Δικτύων Διανομής

Απώτερος στόχος του ΔΕΔΔΗΕ είναι η αντικατάσταση του 80% των συμβατικών μετρητών με έξυπνους μέχρι το 2020, με το 40% να έχει αντικατασταθεί μέχρι τα μέσα του 2017 (Υ.Α. ΦΕΚ Β' 297/13.2.2013 «ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΥΦΥΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΟ ΕΔΔΗΕ»).

Στη συνέχεια, παρατίθεται ένα γράφημα που παρουσίασε ο ΔΕΔΔΗΕ που περιλαμβάνει το κόστος των έργων εγκατάστασης του συστήματος τηλεμέτρησης, τις μέχρι τώρα επιλογές ως προς τον τρόπο επικοινωνίας των μετρητών, το εκτιμώμενο κόστος για την ολοκλήρωση της τηλεμέτρησης σε όλο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τις προτεινόμενες λύσεις για την επικοινωνία του εξοπλισμού.



Εικόνα 5.5: Οι κατηγορίες καταναλωτών και, αντίστοιχα, το κόστος, η ποσόστωση καταναλισκόμενη ηλεκτρικής ενέργειας και οι τεχνολογίες επικοινωνίας

Ο ΔΕΔΔΗΕ βρίσκεται σε μεταβατικό στάδιο επιχειρώντας τον εκσυγχρονισμό του δικτύου διανομής. Ακολουθώντας τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες και τις διεθνείς τάσεις στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, προσπαθεί να εγκαταστήσει υποδομές μέτρησης, ελέγχου και διαχείρισης του ηλεκτρικού δικτύου. Τα έργα εγκατάστασης συστημάτων έξυπνων μετρητών, καίτοι πιλοτικά προς το παρόν, κινούνται προς αυτή την κατεύθυνση. Θα ήταν χρήσιμο να αναφερθεί και άλλη μια διαδικασία που βρίσκεται σε εξέλιξη, η δημιουργία Μηχανογραφικού Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Το σύστημα αυτό αποσκοπεί στην αποτύπωση της τοπολογίας των δικτύων σε ψηφιακή μορφή. Πρόκειται για διαδικασία απαραίτητη για την περαιτέρω αξιοποίηση των συστημάτων έξυπνων μετρητών και την πορεία προς το έξυπνο δίκτυο.



## 6. Διαχείριση της ζήτησης – Demand Side Management

### 6.1 Ορισμός

Η έννοια του DSM προέκυψε από την ανάγκη αντιμετώπισης πολλών ζητημάτων του τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας στις αναπτυγμένες και τις αναπτυσσόμενες χώρες. Τα ζητήματα αυτά περιλαμβάνουν τη ραγδαία αύξηση της ζήτησης ενέργειας, την εξάρτηση και αβεβαιότητα των τιμών των εισαγόμενων καυσίμων, την επίδραση στο περιβάλλον και την ανάγκη διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο όρος πρωτοεμφανίστηκε το 1973 για την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης στις ΗΠΑ και καθιερώθηκε από το EPRI το 1986.

Η διαχείριση της ζήτησης (Demand Side Management DSM) αναφέρεται σε μέτρα και δράσεις που αποσκοπούν στον έλεγχο, τη διαμόρφωση και τη μείωση της ηλεκτρικής ζήτησης. Σκοπός του DSM είναι η μεταβολή της τελικής χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας, η μετάθεση της ζήτησης από περιόδους αιχμής σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και η διαχείρισή της σε καταστάσεις διακοπτόμενης παραγωγής, με απώτερο στόχο τη μείωση του κόστους λειτουργίας στην πλευρά της παραγωγής. Δηλαδή το DSM περιλαμβάνει τις μεθόδους και τις πολιτικές που βοηθούν τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας να χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια με αποδοτικότερο τρόπο. Τα μέτρα DSM μπορούν να καθυστερήσουν ή να αναβάλουν τη κατασκευή νέων μονάδων παραγωγής και να ελαττώσουν τη χρήση των υπάρχουσών μονάδων ή να διευκολύνουν τις υπάρχουσες μονάδες να εξυπηρετούν περισσότερους καταναλωτές.

Σε περιόδους υψηλής ζήτησης, προς κάλυψη των αιχμών ζήτησης εντάσσονται στο σύστημα οι λιγότερο αποδοτικές μονάδες παραγωγής με υψηλά λειτουργικά κόστη που εκτοξεύουν το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι εξομαλύνοντας την καμπύλη ζήτησης μειώνεται η ανάγκη ένταξης κοστοβόρων μονάδων παραγωγής και τα δίκτυα επιφορτίζονται λιγότερο με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων και την αύξηση της αξιοπιστίας του δικτύου.

Κλασικό παράδειγμα αποτελεί η ενεργειακή κρίση της Καλιφόρνια το 2000, όπου εκτιμάται ότι μια μείωση κατά 5% στη ζήτηση θα επέφερε 50% μείωση στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους αιχμής.

Σύμφωνα με το ορισμό του EPRI :

*Η διαχείριση της ζήτησης αφορά το σχεδιασμό, την υλοποίηση και την παρακολούθηση των δράσεων με σκοπό να επηρεάσουν το καταναλωτικό προφίλ των χρηστών ηλεκτρικής ενέργειας και να επιφέρουν τις επιθυμητές αλλαγές στη συνολική καμπύλη φορτίου. Τα βοηθητικά προγράμματα στο γενικότερο πλαίσιο της διαχείρισης της ζήτησης περιλαμβάνουν: διαχείριση φορτίου, νέες χρήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας, στρατηγικές μείωσης του συνολικού φορτίου, εξηλεκτρισμό της ενέργειας, αυτοπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, και αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας της αγοράς ενέργειας.*

Σύμφωνα με τον ορισμό του IEA :

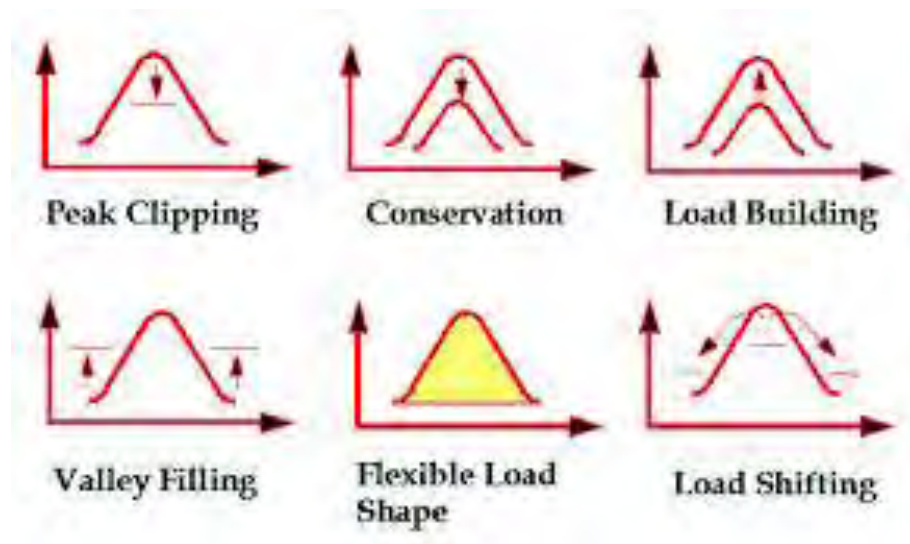
*Η διαχείριση της ζήτησης αναφέρεται στο σύνολο των δράσεων με σκοπό τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας για την αποφυγή της καταπόνησης του συστήματος. Για την επίτευξη των στόχων του DSM είναι απαραίτητη η αξιοποίηση μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, η περαιτέρω διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η εφαρμογή μεθόδων πρόβλεψης φορτίου, η ορθή εποπτεία και παρακολούθηση τους συστήματος, η ενημέρωση και η κινητροδότηση από πλευράς πολιτείας των*



καταναλωτών. Επίσης, σημαντικό παράγοντα κινητροδότησης των καταναλωτών αποτελεί η θέσπιση τιμολογιακών πολιτικών.

## 6.2 Τεχνικές Demand Side Management – Τροποποίηση καμπυλών φορτίου

Οι παραδοσιακές τεχνικές που εφαρμόζονται από τους προμηθευτές για την εξομάλυνση της καμπύλης φορτίου χωρίζονται σε έξι μεγάλες κατηγορίες. (βλ. σχήμα 6.1)

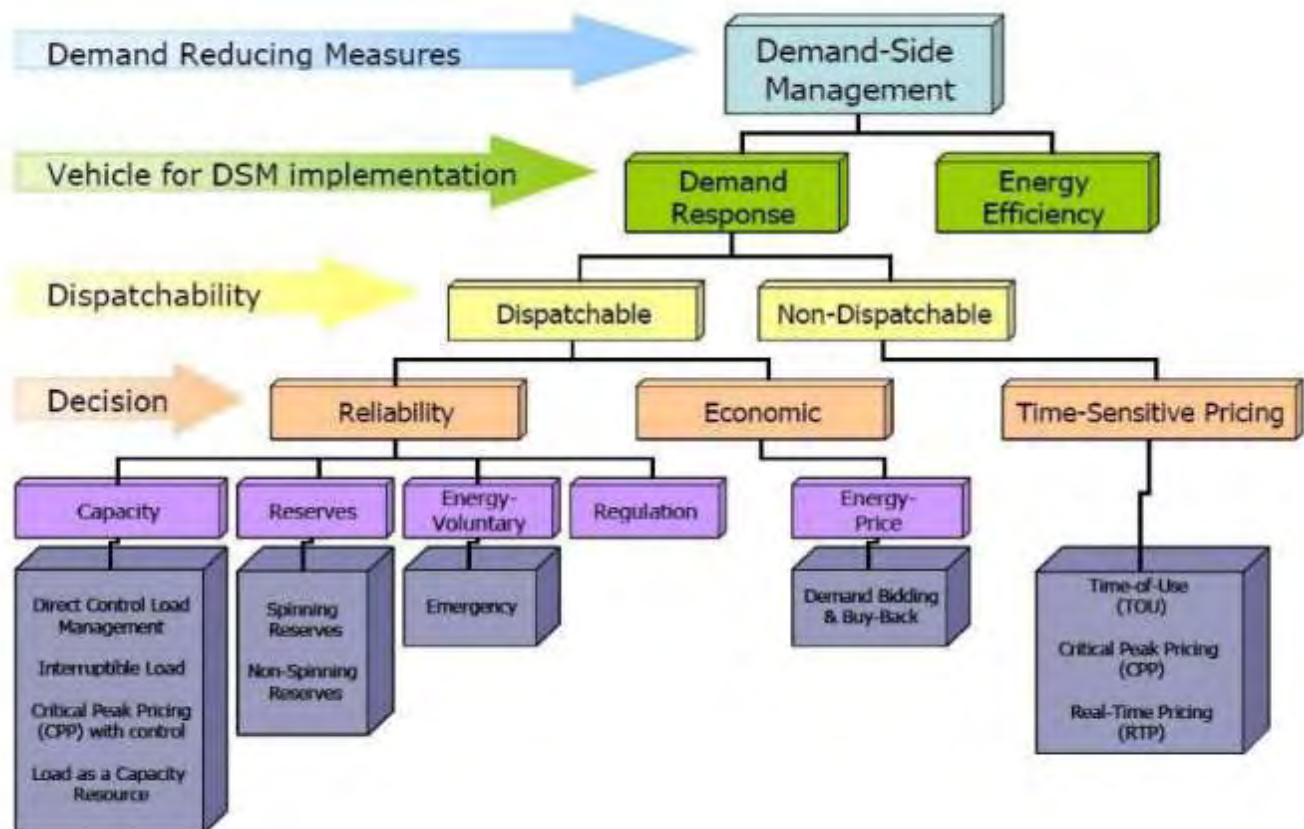


Εικόνα 6.1: Τρόποι μεταβολής της καμπύλης φορτίου

- **Peak Clipping** ή **Peak Shaving**: Μείωση της ζήτησης σε περιόδους αιχμής με άμεσο έλεγχο του φορτίου.
- **Valley Filling**: Αποσκοπεί στην αύξηση της κατανάλωσης σε περιόδους χαμηλής ζήτησης με σκοπό τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος του συστήματος.
- **Load Shifting**: Αποσκοπεί στη μείωση της ζήτησης σε περιόδους αιχμής με ταυτόχρονη αύξηση της ζήτησης σε περιόδους χαμηλής ζήτησης συνδυάζοντας ουσιαστικά, τις τεχνικές peak clipping και valley filling.
- **Strategic Conservation**: Αποσκοπεί στη γενική μείωση του φορτίου (και όχι απαραίτητα σε περιόδους αιχμής) μέσω της μείωσης της κατανάλωσης και της χρήσης ενεργειακά αποδοτικότερου εξοπλισμού.
- **Strategic Load Growth**: Αποσκοπεί στην αύξηση της κατανάλωσης κατά κύριο λόγο σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Τυπικό παράδειγμα αποτελεί ο εξηλεκτρισμός της ενέργειας (electrification).
- **Flexible Load Shape**: Αποσκοπεί στη δημιουργία ευελιξίας στα φορτία των καταναλωτών με σκοπό την άμεση ανταπόκριση σε επείγουσες καταστάσεις.

### 6.3 Προγράμματα διαχείρισης της ζήτησης

Οι δύο βασικοί άξονες για την επίτευξη των στόχων του DSM είναι η ενεργειακή αποδοτικότητα (Energy Efficiency – EE) και η απόκριση της ζήτησης (Demand Response – DR). Όπως φαίνεται στο σχήμα 6.2, τα DR προγράμματα χωρίζονται σε αυτά τα οποία αποκρίνονται σε οδηγίες ή σήματα του διαχειριστή (dispatchable) και αυτά που δεν αποκρίνονται (non-dispatchable). [44]



*Εικόνα 6.2: Κατηγορίες Demand-Side Management*

### 6.3.1 Ενεργειακή αποδοτικότητα – energy efficiency (EE)

Η ενεργειακή αποδοτικότητα αναφέρεται στη χρησιμοποίηση λιγότερης ενέργειας με οικονομικότερο και αποδοτικότερο τρόπο για την παροχή των ίδιων υπηρεσιών στους καταναλωτές. Η μείωση της κατανάλωσης που επιφέρει η ενεργειακή αποδοτικότητα είναι μόνιμη, χωρίς όμως να μειωθεί το εύρος και η ποιότητα των καταναλωτών. Η ενεργειακή αποδοτικότητα διαφέρει από την έννοια της εξοικονόμησης ενέργειας. Για παράδειγμα, η ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτιρίου ή η αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων πυράκτωσης με λαμπτήρες τεχνολογίας Led είναι μέτρα που εξοικονομούν ενέργεια συνεχώς χωρίς μεταβολή των συνηθειών των καταναλωτών. Αντίθετα, η λιγότερο συχνή χρήση της κουζίνας ή του θερμοσίφωνα είναι πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας και όχι ενεργειακής αποδοτικότητας.

Σύμφωνα με τον ορισμό του IEA :

Η ενεργειακή αποδοτικότητα αποτελεί τρόπο διαχείρισης και περιορισμού της αύξησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Ενεργειακά αποδοτικό θεωρείται κάτι το οποίο προσφέρει περισσότερες υπηρεσίες με την ίδια κατανάλωση ενέργειας ή τις ίδιες υπηρεσίες με λιγότερη κατανάλωση ενέργειας. Η διαφορά μεταξύ ενεργειακής αποδοτικότητας και απόκρισης της ζήτησης γίνεται κατανοητή μέσω τριών βασικών χαρακτηριστικών της ενεργειακής αποδοτικότητας [45].

Η διαφορά μεταξύ ενεργειακής αποδοτικότητας και απόκρισης της ζήτησης γίνεται κατανοητή μέσω τριών βασικών χαρακτηριστικών της ενεργειακής αποδοτικότητας :

1. Οι υπάρχουσες ηλεκτρικές συσκευές των καταναλωτών αντικαθίστανται με αποδοτικότερες συσκευές χαμηλότερης κατανάλωσης, χωρίς να επέλθει καμία αλλαγή στον τρόπο λειτουργίας τους.
2. Οι νέες συσκευές καταναλώνουν λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια για την ίδια λειτουργία.
3. Η πραγματική μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, ανεξάρτητα από την παρουσία κρίσιμων περιόδων στο σύστημα.

Τα προγράμματα που παρέχουν οικονομικά κίνητρα στους καταναλωτές είναι ίσως τα δημοφιλέστερα. Υπάρχουν ωστόσο, αρκετά προγράμματα ενεργειακής αποδοτικότητας όπως αυτά που αναφέρονται στην εικόνα 6.3 [46].

Προγράμματα εκπτώσεων	Παρέχουν εκπτώσεις στους καταναλωτές που εγκαθιστούν ενεργειακά αποδοτικές συσκευές (φωτισμός, HVAC συστήματα κ.α.)
Προγράμματα χρηματοδότησης	Προσφέρεται χρηματοδότηση μέσω επιδοτήσεων ώστε να αντισταθμιστεί το αρχικό κόστος των μέτρων ενεργειακή αποδοτικότητας (πχ Ευρωπαϊκό πρόγραμμα ΕΣΠΑ “εξοικονόμηση κατ’ οίκον”)
Κίνητρα εμπορίου	Προσφέρονται οικονομικά κίνητρα σε επιχειρήσεις που πωλούν ή εγκαθιστούν ενεργειακά αποδοτικό εξοπλισμό
Υπηρεσίες ενεργειακής επιθεώρησης	Συμβάλλουν στη διασφάλιση ότι τα ενεργειακά συστήματα μεγάλων κτιρίων λειτουργούν και συντηρούνται αποδοτικά
Προγράμματα εκπαίδευσης	Βοηθούν του τελικούς καταναλωτές, τους κατασκευαστές κτιρίων και άλλους, στην κατανόηση των οφελών της ενεργειακής αποδοτικότητας
Πρότυπα συσκευών	Καθορίζονται τα πρότυπα συσκευών ενεργειακής αποδοτικότητας με ενωμαιμένο έλεγχο απόκρισης της ζήτησης
Κανονισμοί δόμησης	Καθορίζονται τα πρότυπα σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας των ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων με ικανότητα ενσωμάτωσης προγραμμάτων απόκρισης ζήτησης.

Εικόνα 6.3: Τύποι προγραμμάτων και στρατηγικών ενεργειακής αποδοτικότητας



Τομέας	Παραδείγματα εφαρμογών ενεργειακής αποδοτικότητας
Οικιακός και εμπορικός κτιριακός τομέας	<ul style="list-style-type: none"> <li>Αποδοτικός εξοπλισμός σε συστήματα θέρμανσης/ψύξης και αποδοτική διαχείριση</li> <li>Χρήση λαμπτήρων εξοικονόμησης ενέργειας – βέλτιστη αξιοποίηση φυσικού φωτισμού</li> <li>Εγκατάσταση αποδοτικού εξοπλισμού σε γραφεία και οικίες</li> <li>Χρήση σύγχρονων υλικών θερμομόνωσης σε νέα και ανακαινισμένα κτήρια</li> </ul>
Βιομηχανία	<ul style="list-style-type: none"> <li>Αποδοτική λειτουργία με συλλογή δεδομένων, ανάλυση της κατανάλωσης ΗΕ και εκπαιδευμένο προσωπικό.</li> <li>Έλεγχο καύσης σε boiler και βραστήρες</li> <li>Αποδοτικός εξοπλισμός σε συστήματα θέρμανσης/ψύξης και φωτισμού και αποδοτική διαχείριση</li> <li>Βέλτιστη χρήση του υπάρχοντος εξοπλισμού και αντικατάσταση του παλαιού με νέο ενεργειακά αποδοτικό (boilers, ανεμιστήρες, σωλήνες κ.α.)</li> </ul>
Μεταφορές	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ηλεκτρικά οχήματα</li> <li>Περαιτέρω αξιοποίηση των δημοσίων συγκοινωνιών</li> <li>Βελτιστοποίηση οδικού δικτύου</li> </ul>
Διαχείριση πόρων	<ul style="list-style-type: none"> <li>Τεχνολογίες καθαρού άνθρακα. Επιτρέπουν αποδοτικότερη διαχείριση ορυκτού άνθρακα μειώνοντας τις εκπομπές αερίων (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>)</li> <li>Αντικατάσταση συμβατικών καυσίμων με μεγιστοποίηση της διεύδυσης ΑΠΕ και φυσικού αερίου</li> </ul>
Σύστημα μεταφοράς και διανομής	<ul style="list-style-type: none"> <li>Αντικατάσταση ή αναβάθμιση του υπάρχοντος εξοπλισμού και των υποσταθμών</li> <li>Βελτιστοποίηση λειτουργίας και ελέγχου προς μείωση των απωλειών και αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος</li> </ul>

Εικόνα 6.4: Δράσεις ενεργειακής αποδοτικότητας ανά τομέα

### 6.3.2 Απόκριση της ζήτησης – Demand Response (DR)

Η έννοια της απόκρισης της ζήτησης αναφέρεται στις μεταβολές στο προφίλ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τους τελικούς καταναλωτές ως απόκριση σε διακυμάνσεις της τιμής του ηλεκτρισμού σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Οι μεταβολές αυτές πραγματοποιούνται ως απόκριση σε οικονομικά κίνητρα σχεδιασμένα έτσι ώστε να παροτρύνουν τους καταναλωτές για χρήση λιγότερης ενέργειας, ή ως απόκριση σε σήματα που αποστέλλονται από τους αρμόδιους φορείς όταν η τιμή της ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλή ή όταν κινδυνεύει η αξιοπιστία του ΣΗΕ. Η βραχυχρόνια αυτή συμπεριφορά των καταναλωτών μπορεί να βελτιώνει την αξιοπιστία του συστήματος και να αναστέλλει ενδεχόμενη αύξηση στην τιμή του ρεύματος.

Σύμφωνα με τον ορισμό του IEA:

Η απόκριση στη ζήτηση αναφέρεται σε σειρά από στρατηγικές που μπορούν να εφαρμοσθούν σε ανταγωνιστικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας με στόχο την αύξηση της συμμετοχής της πλευράς της ζήτησης ή των τελικών καταναλωτών στον καθορισμό των τιμών και την εκκαθάριση της αγοράς.

Σύμφωνα με τον ορισμό του FERC:

Αλλαγές στη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας από τους τελικούς καταναλωτές που ανταποκρίνονται δυναμικά στις μεταβολές της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος κατά τη διάρκεια του χρόνου ή σε προγράμματα βασιζόμενα σε κίνητρα που προσφέρουν ανταμοιβή για τη μείωση χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας σε καταστάσεις όπου τίθεται σε κίνδυνο η αξιοπιστία του συστήματος ή σε περιπτώσεις όπου οι τιμές της αγοράς είναι πολύ υψηλές. Δύο από τα κύρια εμπόδια που παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια στην εφαρμογή προγραμμάτων απόκρισης ζήτησης είναι η ανελαστικότητα που υπάρχει από τη μεριά της ζήτησης και το μικρό ποσοστό συμμετοχής εξαιτίας της μηδαμινής πληροφόρησης.

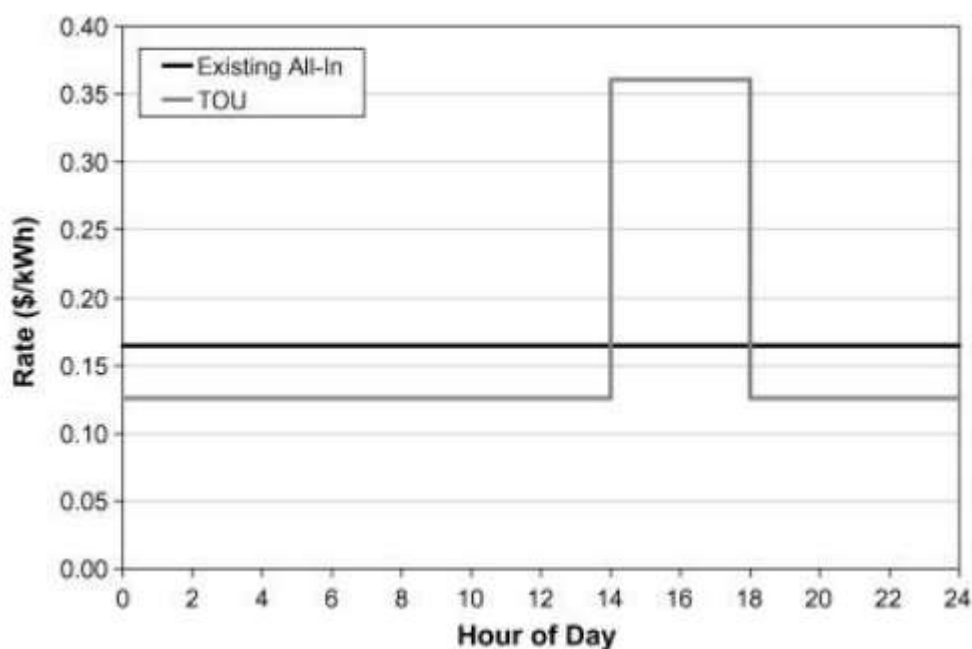
#### Τεχνικές απόκρισης της ζήτησης

Οι συνήθεις τεχνικές απόκρισης της ζήτησης χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες, τις Price-based Demand Response και Incentive-based Demand Response [45] [46].

- Τα προγράμματα βασιζόμενα σε χρονικά μεταβαλλόμενες χρεώσεις (Price-based Demand Response) αναφέρονται στις αλλαγές στη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές, ανταποκρινόμενοι στις αλλαγές της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος. Όταν οι αποκλίσεις στην τιμή μεταξύ των ωρών μιας ημέρας είναι σημαντικές, οι καταναλωτές μπορούν να επωφεληθούν από τα τιμολογιακά προγράμματα πραγματοποιώντας αλλαγές στη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Εκμεταλλευόμενοι τις χαμηλές τιμές σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και αποφεύγοντας την κατανάλωση σε ώρες αιχμής, οι καταναλωτές μπορούν να μειώσουν τους λογαριασμούς τους. Η απόκριση των καταναλωτών σε Price-based DR πρόγραμμα δεν είναι υποχρεωτική και μπορούν να ανταποκρίνονται ανάλογα με τις ανάγκες τους.
- Τα προγράμματα βασιζόμενα σε κίνητρα (Incentive-based Demand Response) εφαρμόζονται από τους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας ή από το διαχειριστή του συστήματος. Τα προγράμματα αυτά παρέχουν οικονομικά κίνητρα στους καταναλωτές για μείωση του φορτίου τους, ανεξάρτητα ή σε συνδυασμό με τον τρόπο που ήδη κοστολογούνται, ο οποίος μπορεί να είναι σταθερός ή να μεταβάλλεται χρονικά. Οι μειώσεις των φορτίων χρειάζονται και ζητούνται από

τον καταναλωτή στις περιπτώσεις όπου ο χειριστής του δικτύου κρίνει ότι κινδυνεύει η αξιοπιστία του συστήματος ή όταν οι τιμές ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλές. Στα περισσότερα προγράμματα DR ορίζεται το βασικό επίπεδο κατανάλωσης κάθε καταναλωτή, ώστε οι επιβλέποντες να μπορούν να μετρήσουν και να επαληθεύσουν το μέγεθος της απόκρισης από την πλευρά κάθε καταναλωτή. Σε αντίθεση με τα Price-based DR προγράμματα, οι καταναλωτές που έχουν συμφωνήσει με συμβόλαιο για τη συμμετοχή τους σε Incentive-based DR προγράμματα είναι υποχρεωμένοι να ανταποκρίνονται στο περιορισμό της ζήτησης στις κρίσιμες για το σύστημα περιόδους. Σε αντίθετη περίπτωση, τους επιβάλλονται πρόστιμα [45].

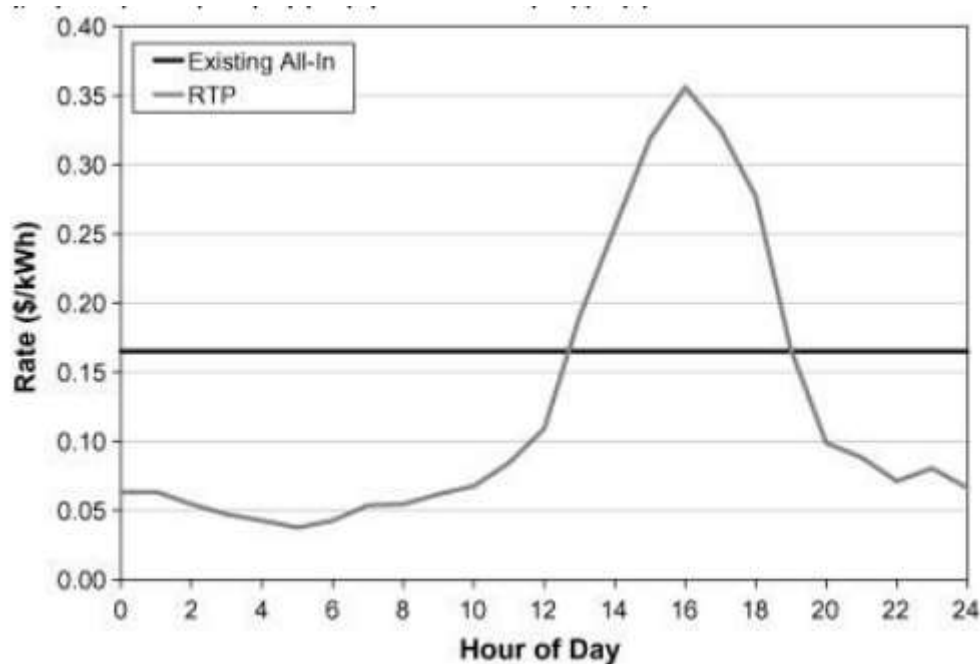
- I. Προγράμματα βασιζόμενα σε χρονικά μεταβαλλόμενες χρεώσεις (Price-based Demand Response)
  - Time-Of-Use (TOU): Βασίζεται σε διαφορετική τιμολόγηση του ηλεκτρισμού συνήθως κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Για κάθε χρονική ζώνη ισχύουν διαφορετικοί συντελεστές χρέωσης, αντικατοπτρίζοντας το μέσο κόστος παραγωγής και διανομής του ηλεκτρισμού κατά τη διάρκεια κάθε ζώνης. Εκτός από τιμολόγια που βασίζονται στην ημερήσια διακύμανση διατίθενται και διαφορετικά τιμολόγια ανά εποχή.



*Εικόνα 6.5: Παράδειγμα time-of-use τιμολόγησης*

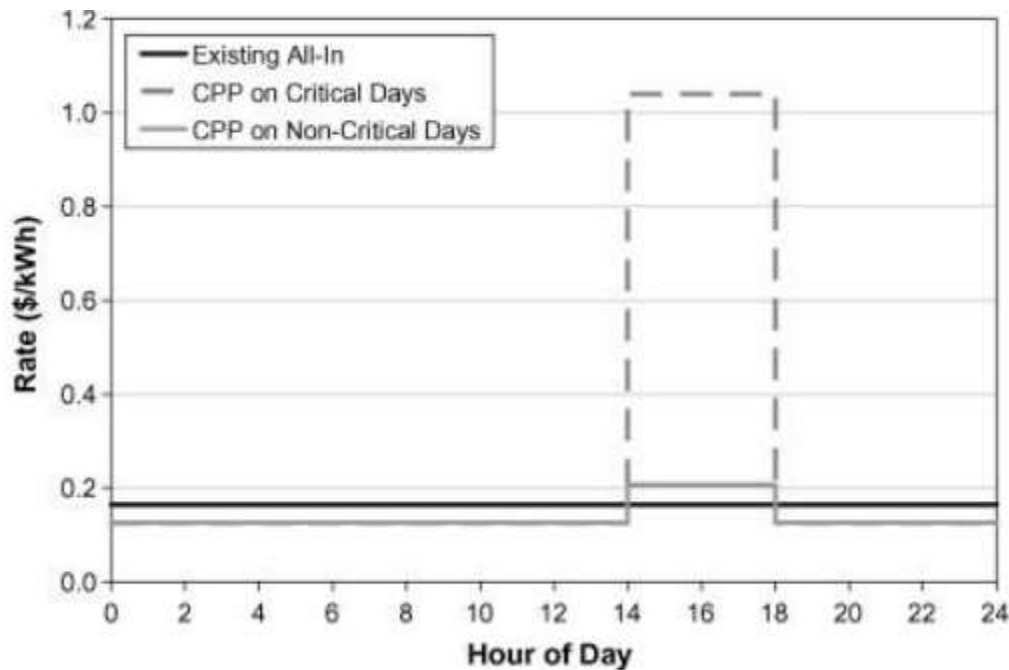


- Real Time Pricing (RTP): Η τιμή του ηλεκτρισμού μεταβάλλεται σε ωριαία βάση ανταποκρινόμενη στην ωριαία διακύμανση του κόστους παραγωγής. Οι καταναλωτές ενημερώνονται για τις τιμές μια ώρα ή μια ημέρα πριν την εφαρμογή των RTP προγραμμάτων.



Εικόνα 6.6: Παράδειγμα τιμολόγησης πραγματικού χρόνου

- Critical Peak Pricing (CPP): Αποτελεί συνδυασμό των προηγούμενων και περιλαμβάνει μια βασική TOU τιμολόγηση, ενώ σε περιπτώσεις υψηλής αιχμής εφαρμόζεται μια επιπλέον χρέωση στην κανονική μέγιστη τιμή. Εφαρμόζεται έπειτα από συγκεκριμένα γεγονότα, όπως απρόοπτες καταστάσεις στο δίκτυο, διακινδύνευση της αξιοπιστίας του συστήματος ή εξαιρετικά υψηλό κόστος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από τον προμηθευτή. Ως ανταμοιβή, οι καταναλωτές που συμμετέχουν στα προγράμματα αυτά έχουν έκπτωση για κατανάλωση σε ώρες εκτός αιχμής.



*Εικόνα 6.7: Παράδειγμα τιμολόγησης critical peak pricing*

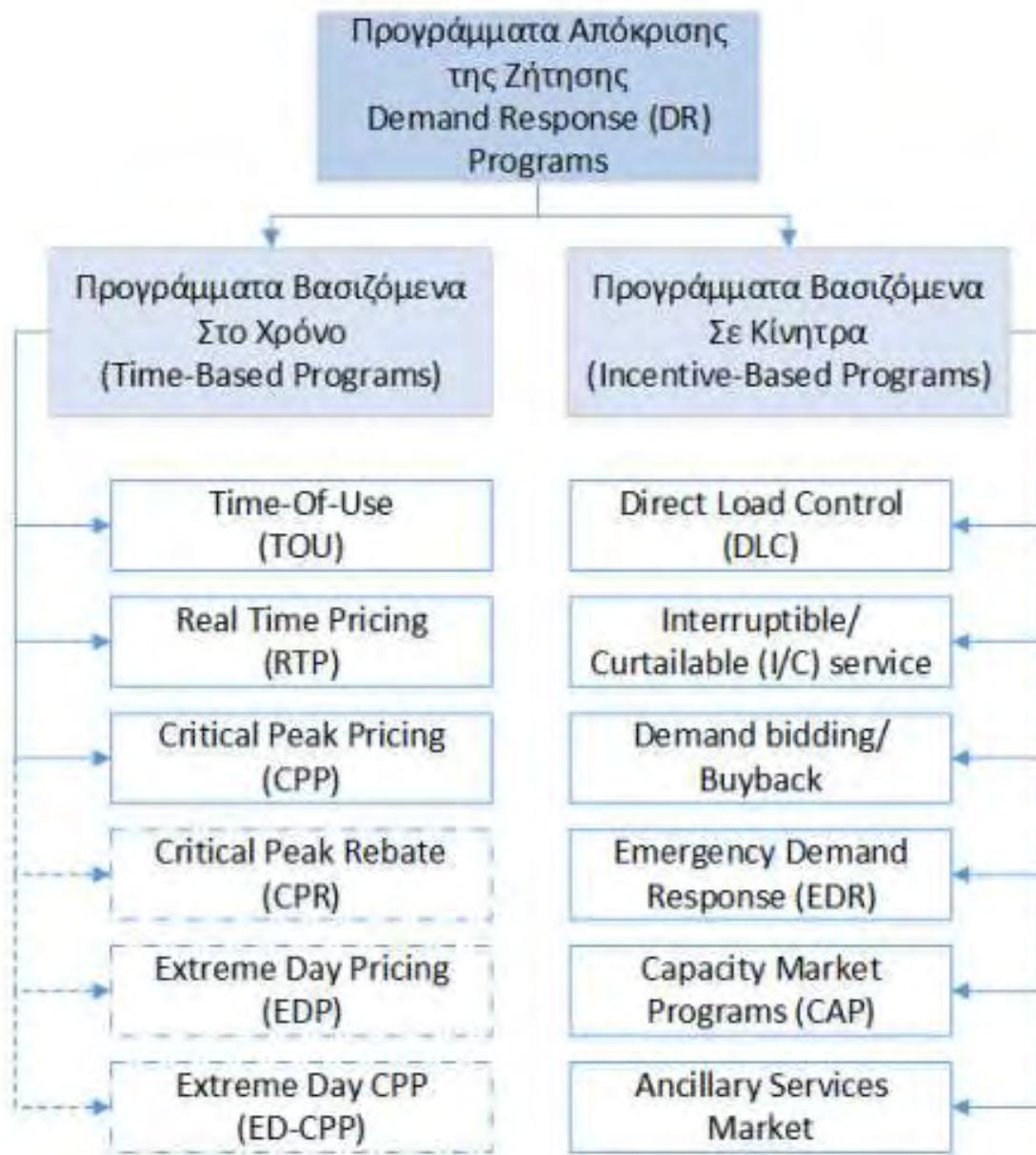
- **Critical peak rebate (CPR):** Οι καταναλωτές ανταμείβονται ανάλογα με το πόσο μειώνουν την κατανάλωσή τους κατά τις ώρες υψηλής αιχμής. Τα προγράμματα αυτά γίνονται ευκολότερα αποδεκτά από τους καταναλωτές διότι δεν περιλαμβάνουν κάποιο χρηματικό πρόστιμο όπως τα προγράμματα CPP. Αποτελούν νέα στρατηγική που δεν έχει εφαρμοστεί ακόμη σε ευρεία έκταση.
- **Extreme Day Pricing (EDP):** Μοιάζει με την CPP τιμολόγηση ως προς το ότι εφαρμόζεται υψηλότερη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας σε ώρες αιχμής, αλλά διαφέρει ως προς το ότι η τιμή αυτή βρίσκεται σε ισχύ για 24 ώρες, δηλαδή για ολόκληρη την ημέρα που χαρακτηρίζεται ακραία και η οποία είναι γνωστή από την προηγούμενη μέρα.
- **Extreme Day CPP (ED-CPP):** Εφαρμόζονται δύο επίπεδα αυξημένων χρεώσεων για ώρες εντός και εκτός αιχμής κατά τη διάρκεια των επικίνδυνων για το δίκτυο ημερών. Ωστόσο, κατά τις υπόλοιπες μέρες η τιμολόγηση του ηλεκτρισμού δεν έχει διακυμάνσεις.

## II. Προγράμματα βασισμένα σε οικονομικά κίνητρα (Incentive-based Demand Response)

- **Direct load control – DLC (Άμεσος έλεγχος φορτίου):**  
Στα προγράμματα άμεσου ελέγχου φορτίου, ο πάροχος είναι σε θέση να διακόψει τη λειτουργία ορισμένων φορτίων, όπως τα κλιματιστικά ή οι θερμαντήρες νερού κατά απομακρυσμένο τρόπο και μετά από σύντομη ειδοποίηση των καταναλωτών. Οι

καταναλωτές λαμβάνουν μειώσεις στου λογαριασμούς τους για τη συμμετοχή τους στο πρόγραμμα. Τα προγράμματα Direct Load Control απευθύνονται κυρίως στους οικιακούς και τους μικρούς εμπορικούς καταναλωτές.

- **Interruptible/Curtailable (I/C) service (Προγράμματα αποκοπής φορτίου):**  
Πρόκειται για προγράμματα στα οποία οι καταναλωτές επωφελούνται έκπτωσης στο λογαριασμό τους με αντάλλαγμα τη διακοπή ή τη μείωση του φορτίου τους σε κρίσιμες για το σύστημα καταστάσεις. Οι συμμετέχοντες είναι υποχρεωμένοι να διακόψουν το φορτίο τους εντός 30- 60min από τη στιγμή που θα ειδοποιηθούν από τον πάροχο. Σε περίπτωση μη συμμόρφωσης, επιβάλλονται κυρώσεις. Τυπικά, τα I/C προγράμματα απευθύνονται σε μεγάλους εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές καθώς το προς διακοπή φορτίο κυμαίνεται μεταξύ 200Kw έως 3Mw.
- **Demand bidding/Buyback programs (Προγράμματα προσφορών):**  
Πρόκειται για προγράμματα τα οποία είτε ενθαρρύνουν τους καταναλωτές να υποβάλουν προσφορά μείωσης του φορτίου τους στη χονδρεμπορική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας σε τιμές που εκείνοι επιθυμούν, είτε να προσδιορίσουν το μέγεθος του φορτίου που είναι διατεθειμένοι να περικόψουν σε μία προσυμφωνημένη τιμή. Η ειδοποίηση γίνεται μία ημέρα νωρίτερα ή ακόμη και την ίδια ημέρα. Σε περίπτωση μη συμμόρφωσης, επιβάλλονται κυρώσεις. Τα προγράμματα αυτά απευθύνονται σε μεγάλους καταναλωτές (πάνω από 1MW).
- **Emergency demand response programs (Προγράμματα επείγουσας ανάγκης):**  
Είναι προγράμματα που προσφέρουν οικονομικά κίνητρα για αποκοπή του φορτίου σε κρίσιμες περιόδους όπου κινδυνεύει η αξιοπιστία του συστήματος. Συνήθως, η συμμετοχή των καταναλωτών σε τέτοια προγράμματα είναι εθελοντική, ενώ στις περιπτώσεις υποχρεωτικής συμμετοχής η επιβολή ή μη κυρώσεων εξαρτάται από τον εκάστοτε προμηθευτή. [47]
- **Capacity market programs (Προγράμματα αγοράς ισχύος):**  
Πρόκειται για προγράμματα που προσφέρονται σε καταναλωτές που μπορούν εκ των προτέρων να εγγυηθούν μείωση στο φορτίο σε κρίσιμες για το σύστημα καταστάσεις. Ως αντάλλαγμα, οι καταναλωτές λαμβάνουν εγγυημένες πληρωμές. Η ειδοποίηση γίνεται μια ημέρα πριν την εμφάνιση του κρίσιμου γεγονότος και σε περίπτωση μη συμμόρφωσης επιβάλλονται πρόστιμα.
- **Ancillary services market programs (Προγράμματα αγοράς βοηθητικών υπηρεσιών):**  
Πρόκειται για προγράμματα βοηθητικών υπηρεσιών που τυπικά λειτουργούν ως εφεδρείες και παρέχουν τη δυνατότητα στους καταναλωτές να υποβάλουν στην αγορά προσφορές μείωσης του φορτίου τους. Εφόσον η τιμή της πλειοδοσίας γίνει αποδεκτή, οι καταναλωτές πληρώνονται για την διαθεσιμότητά τους να βρίσκονται σε κατάσταση ετοιμότητας. Αν χρειαστεί περικοπή του φορτίου τους, ειδοποιούνται σχετικώς από τους προμηθευτές ή το διαχειριστή.



*Εικόνα 6.8: Προγράμματα απόκρισης της ζήτησης*

Οι καταναλωτές που συμμετέχουν σε προγράμματα απόκρισης της ζήτησης διαθέτουν τρεις δυνατούς τρόπους μεταβολής του τρόπου χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας [46]. 1.

1. Forego: Μείωση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους αιχμής. Η ορθή ρύθμιση του θερμοστάτη, η μείωση των ωρών χρήσης κλιματιστικών και η διακοπή ή η μείωση της έντασης του φωτισμού αποτελούν τυπικά παραδείγματα σε οικιακούς καταναλωτές.
2. Shifting: Μετατόπιση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους εκτός των γεγονότων απόκρισης ζήτησης ή σε χρονικά διαστήματα χαμηλής τιμής. Η φόρτιση των μπαταριών στο

βιομηχανικό τομέα σε περιόδους χαμηλής ζήτησης ή η εκ των προτέρων ψύξη/θέρμανση στον οικιακό και εμπορικό τομέα είναι τυπικά παραδείγματα μετατόπισης φορτίου.

3. Self-generation: Οι καταναλωτές μπορούν να θέσουν σε λειτουργία μονάδες αυτοπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή εφεδρικές ηλεκτρογεννήτριες για να καλύψουν μέρος των αναγκών τους, μειώνοντας έτσι την ανάγκη κάλυψης φορτίου από τον πάροχο.

### 6.3.3 Τηλεπικοινωνιακές απαιτήσεις σε DR προγράμματα

Οι τηλεπικοινωνιακές απαιτήσεις σε DR προγράμματα διαφέρουν ανάλογα με το εύρος των προγραμμάτων. Στις απλές εφαρμογές, όπως η διαχείριση ενός κλιματιστικού, αρκεί ένα μήνυμα αποκοπής με πολύ μικρές απαιτήσεις σε τηλεπικοινωνιακούς πόρους που ικανοποιούνται εύκολα από τις σημερινές τεχνολογίες. Ορισμένες έρευνες δείχνουν ότι οι τηλεπικοινωνιακές απαιτήσεις σε DR προγράμματα θα κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα ή ελαφρώς υψηλότερα από το AMI σύστημα, δηλαδή μεταξύ 14 και 100kbps ανά κόμβο/συσκευή. Άλλες έρευνες εκτιμούν ότι οι απαιτήσεις για DR είναι μικρότερες από τις απαιτήσεις στο AMI και κυμαίνονται στα επίπεδα των 120bytes ανά μήνυμα [48].

Εξίσου σημαντικές με το εύρος ζώνης είναι και οι απαιτήσεις ως προς την ανεκτή χρονική καθυστέρηση. Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί εμφανίζουν ένα μεγάλο εύρος σε καθυστέρηση που κυμαίνεται από λίγα ms έως και 2sec ή μερικά min ανάλογα με την εφαρμογή. Για παράδειγμα, DR προγράμματα που αποσκοπούν στην αποφυγή κρίσιμων καταστάσεων όπως η υπερφόρτωση του συστήματος, απαιτούν την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση, ενώ προγράμματα που χρησιμοποιούνται για εξισορρόπηση φορτίου επιδέχονται και υψηλότερη καθυστέρηση.

Καθώς όμως το DR χρησιμοποιείται ως ένα εργαλείο διαχείρισης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, οι απαιτήσεις σε αξιοπιστία είναι υψηλές. Σύμφωνα με ορισμένες έρευνες, η αξιοπιστία στη μετάδοση δεδομένων σε DR προγράμματα κυμαίνεται από 99 έως 99.99% [48]

Η προτυποποίηση για την επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων σε DR προγράμματα καθορίζεται από το πρωτόκολλο OpenADR V.2 και τον οργανισμό Demand Response Research Center (DRRC). Ένα τυπικό μήνυμα για ένα DR γεγονός περιέχει τα ακόλουθα [49]:

PRICE\_ABSOLUTE – Τιμή της κιλοβατώρας  
 PRICE\_RELATIVE – Αλλαγή στην τιμή της κιλοβατώρας  
 PRICE\_MULTIPLE – Πολλαπλάσιο της τρέχουσας τιμής  
 LOAD\_LEVEL – Επίπεδο φορτίου  
 LOAD\_AMOUNT – Ποσότητα του φορτίου προς μετακύλιση  
 LOAD\_PERCENTAGE – Ποσοστό του φορτίου προς μετακύλιση  
 GRID\_RELIABILITY – Ποσοστό από 0 έως 100 που σηματοδοτεί την αξιοπιστία του δικτύου

Οι τεχνολογίες επικοινωνίας που διαθέτουν την ικανότητα να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες του DR είναι αρκετές. Συνήθως για τη δικτύωση στον οικιακό τομέα χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες PLC και ZigBee, ενώ χρησιμοποιούνται ευρέως και οι τεχνολογίες LTE, WiFi, WiMAX και DSL [49].

## 6.4 Ο ρόλος του Demand Side Management στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σε όλες τις δομές της αγοράς, η διαχείριση των ΣΗΕ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από δύο σημαντικές φυσικές ιδιότητες της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Πρώτον, η ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι οικονομικά αποθηκεύσιμη, οπότε απαιτείται η επίτευξη ισοζυγίου προσφοράς-ζήτησης σε πραγματικό χρόνο. Η αναντιστοιχία προσφοράς και ζήτησης μπορεί να απειλήσει την ακεραιότητα του ηλεκτρικού δικτύου σε ευρείες περιοχές μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα. Δεύτερον, η βιομηχανία της ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ υψηλής έντασης κεφαλαίου. Οι επενδύσεις στην παραγωγή και τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγάλες και τα αντίστοιχα έργα σύνθετα, με αναμενόμενη οικονομική διάρκεια ζωής αρκετών δεκαετιών [45].

Αυτά τα δύο χαρακτηριστικά των ΣΗΕ απαιτούν ένα ευρύ φάσμα χρονοδιαγραμμάτων για τη διαχείριση της ενέργειας, το οποίο εκτείνεται από μερικά δευτερόλεπτα για τη διατήρηση του ισοζυγίου μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, έως μερικά χρόνια (ή και δεκαετίες) για το σχεδιασμό και τον προγραμματισμό της παραγωγής.

Ο σχεδιασμός εγκατεστημένης ισχύος (capacity planning) περιλαμβάνει την αξιολόγηση της ανάγκης για νέες επενδύσεις σε πολυετή χρονικό ορίζοντα ενώ ο σχεδιασμός λειτουργίας (operation planning) περιλαμβάνει τον προγραμματισμό των διαθέσιμων πόρων για την κάλυψη της αναμενόμενης εποχικής ζήτησης με χρονοδιάγραμμα μηνών. Ο προγραμματισμός λειτουργίας (operations scheduling) αναφέρεται στον καθορισμό των μονάδων παραγωγής που θα λειτουργήσουν για να καλύψουν βραχυπρόθεσμα τη ζήτηση. Στον προγραμματισμό λειτουργίας οι αποφάσεις λαμβάνονται είτε μία ημέρα πριν, είτε σε διάστημα μερικών ωρών έως 15 λεπτών πριν την ένταξη της μονάδας (μηχανισμός εκκαθάρισης αποκλίσεων). Η εξισορρόπηση του συστήματος (system balancing) γίνεται σε πολύ μικρή κλίμακα χρόνου και αναφέρεται σε λειτουργίες του δικτύου, όπως η στρεφόμενη εφεδρεία, ο έλεγχος τάσης κ.ά.

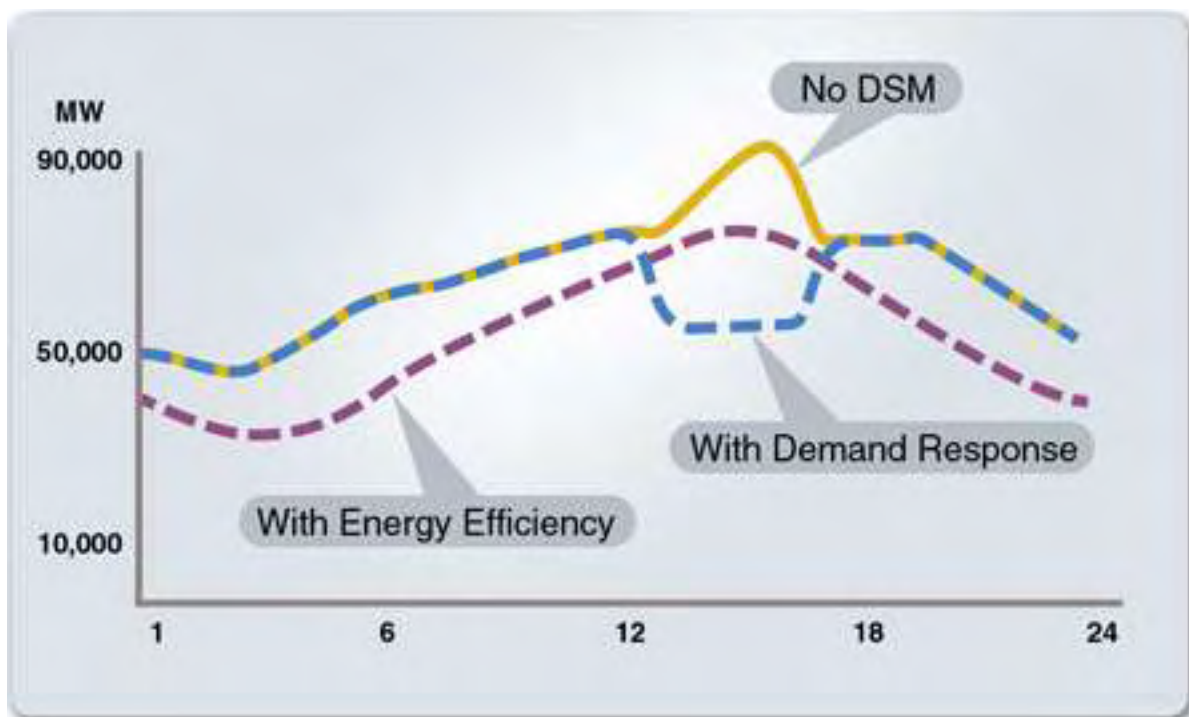
Η απόκριση ζήτησης έχει το χαρακτηριστικό ότι μπορεί να ενταχθεί σε όλα τα χρονοδιαγράμματα της διαχείρισης ζήτησης και να συνδράμει στους μηχανισμούς τιμολόγησης της ενέργειας. Για παράδειγμα, τα προγράμματα ΤΟΥ μπορούν να ενσωματωθούν στο σχεδιασμό λειτουργίας, αφού αντανακλούν το ημερήσιο και το εποχιακό κόστος παραγωγής, ενώ τα RTP προγράμματα μπορούν να ληφθούν υπόψη στον ημερήσιο ενεργειακό προγραμματισμό και την εξισορρόπηση λειτουργίας. Τα Incentive-based DR προγράμματα εντάσσονται στο χρονοδιάγραμμα της διαχείρισης των ΣΗΕ. Για παράδειγμα, η Αγορά Διαθεσιμότητας Ισχύος αφορά εκ των προτέρων μειώσεις φορτίου, άρα ενσωματώνεται σε κλίμακα χρόνου μερικών μηνών στο χρονοδιάγραμμα, ενώ ο Άμεσος Έλεγχος Φορτίου λαμβάνει χώρα μερικά λεπτά πριν γίνει η τελική διανομή της ενέργειας.

Η ενεργειακή αποδοτικότητα μπορεί να ενσωματωθεί ως μέρος του σχεδιασμού του συστήματος καθώς δημιουργεί μόνιμη μείωση της ζήτησης ΗΕ [45] [46].



## 6.5 Οφέλη και κόστος διαχείρισης της ζήτησης

Τα οφέλη του DSM προκύπτουν από τα επιμέρους οφέλη της ενεργειακής αποδοτικότητας και της απόκρισης της ζήτησης. Όπως έχει προαναφερθεί τα οφέλη της ενεργειακής αποδοτικότητας είναι μόνιμα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και δεν χρειάζεται καμία συνεργασία καταναλωτή- διαχειριστή, ενώ στα DR προγράμματα η ύπαρξη ενός δικτύου έξυπνων μετρητών είναι απαραίτητη για την αμφίδρομη επικοινωνία καταναλωτή-διαχειριστή, ώστε ο καταναλωτής να επωφελείται από τα προγράμματα κινήτρων και τη διακύμανση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια του 24ώρου.



*Εικόνα 6.9: Επίδραση του DSM στην καμπύλη ζήτησης*

### Α. Οφέλη ενεργειακής αποδοτικότητας

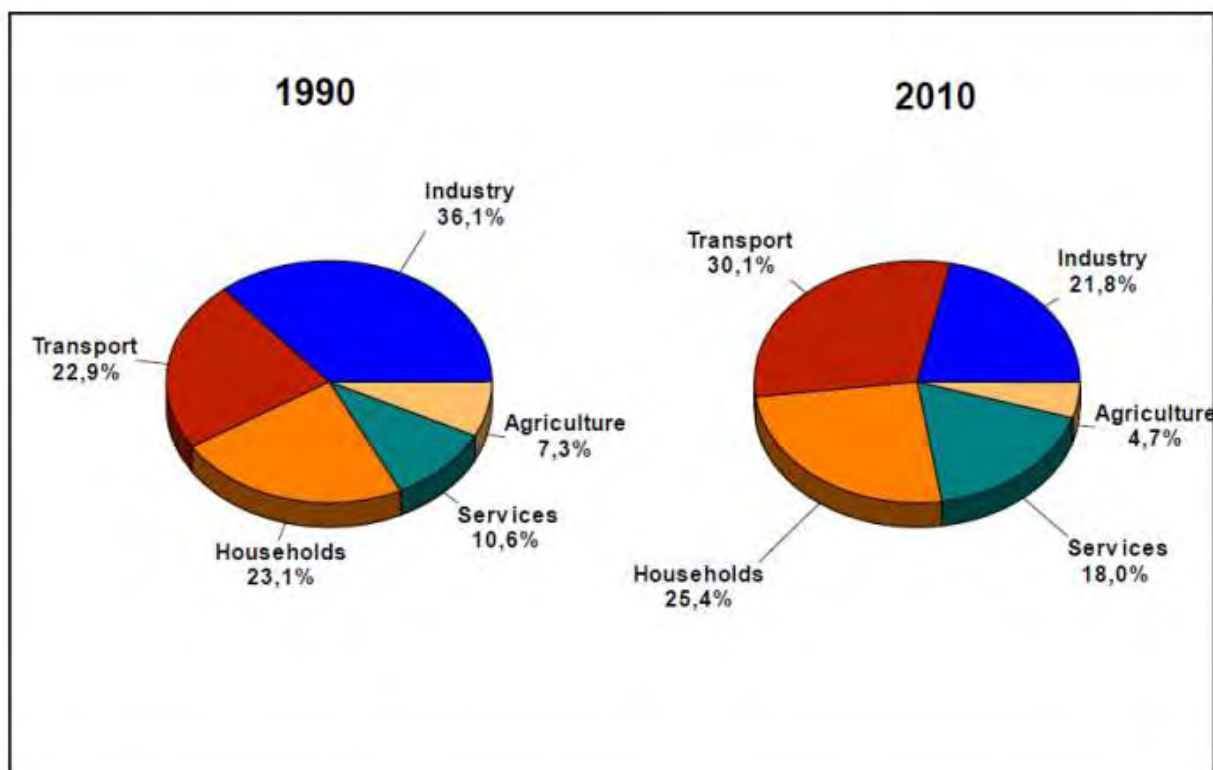
Λαμβάνοντας υπόψη τα μειωμένα αποθέματα και τις συνεχώς αυξανόμενες τιμές των συμβατικών καυσίμων, η ενεργειακή αποδοτικότητα μπορεί σε πολλές χώρες να αποτελέσει το “πρώτο καύσιμο” [50]. Τα οφέλη μπορούν να καταταχθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

#### 1. Περιβαλλοντικά οφέλη

Οι επενδύσεις σε προγράμματα ενεργειακής αποδοτικότητας έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα έχουν αυξηθεί κατά 17.8% από το 1990 έως το 2010. Η συμμετοχή κάθε κλάδου κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στις εκπομπές CO<sub>2</sub> παρουσιάζεται στην εικόνα 6.10 [51]. Πέραν της εξοικονόμησης ενέργειας, η προώθηση μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας



έχει και στόχο τη μείωση εκπομπών προς αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και της μόλυνσης του περιβάλλοντος.



*Εικόνα 6.10: Εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά τομέα στην Ελλάδα*

## 2. Οφέλη στις μεταφορές

Τα οφέλη της ενεργειακής απόδοσης στο τομέα των μεταφορών συνδέονται άμεσα με περιβαλλοντικά οφέλη. Ο συγκεκριμένος τομέας είναι υπεύθυνος για το 30% των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα [51]. Η αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων με Φ.Α. αλλά και η αναμενόμενη διείσδυση των ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων θα επιφέρει σημαντική μείωση σε εκπομπές αερίων. Το γεγονός αυτό επιφέρει και οικονομικά οφέλη αν ληφθεί υπόψη η συνεχώς αυξανόμενη τιμή του πετρελαίου και της βενζίνης σε σύγκριση με την τιμή του Φ.Α. και του ηλεκτρισμού.

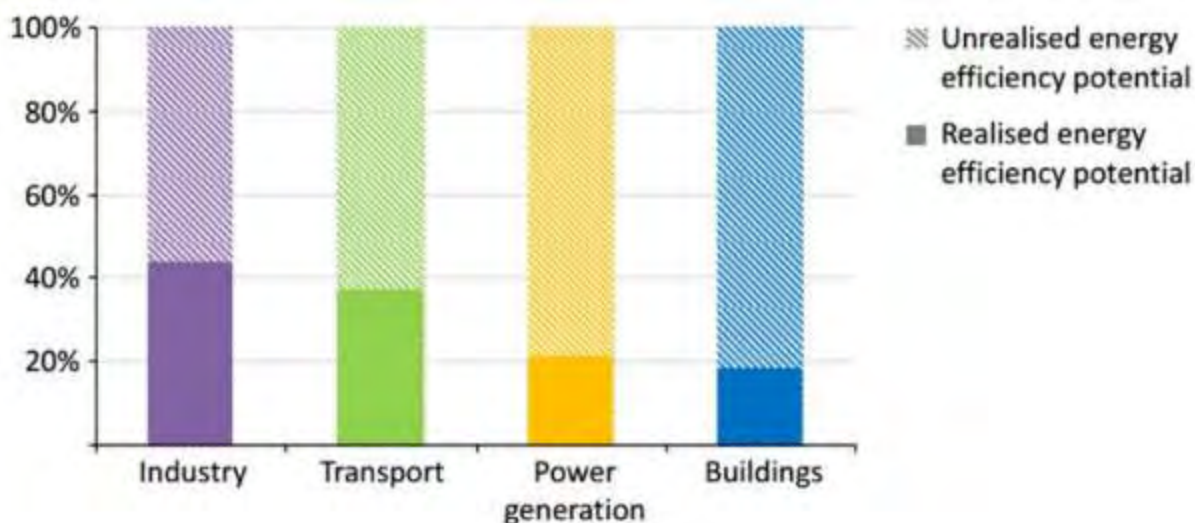
## 3. Οφέλη στον οικιακό και κτιριακό τομέα

Ο οικιακός και κτηριακός τομέας παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες προοπτικές για εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της ενεργειακής αποδοτικότητας. Ο κτιριακός τομέας αντιπροσωπεύει το 40 % της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ). Επομένως, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε αυτόν τον τομέα αποτελεί προτεραιότητα στο πλαίσιο των στόχων «20-20-20» για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.[ΣΔΕΑ] Η εφαρμογή του νέου Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ), η καλύτερη μόνωση στα νέα κτίρια καθώς και η προμήθεια ενεργειακά αποδοτικών

οικιακών συσκευών, αναμένεται να συμβάλουν καθοριστικά στην ενεργειακή βελτίωση και την εξοικονόμηση ενέργειας. Μελλοντικός στόχος είναι τα κτίρια με μηδενική ή σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (Net Zero Energy Buildings). Τα οφέλη που αναμένουν οι καταναλωτές είναι η μείωση στο λογαριασμό τους καθώς η αύξηση των ανέσεων τους. Μάλιστα, ο IEA αναφέρει ότι τα νοικοκυριά θα εξοικονομήσουν 4 δολάρια για κάθε 1 δολάριο που επενδύουν [50].

#### 4. Οφέλη στο βιομηχανικό τομέα

Η ενεργειακή απόδοση στον τομέα της βιομηχανίας, παρουσιάζει βελτίωση από το 2005, κυρίως λόγω της συνεισφοράς του κλάδου των μη-μεταλλικών προϊόντων στον οποίο οφείλεται το 30% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας του βιομηχανικού τομέα. Το 2010, η ειδική κατανάλωση των ενεργοβόρων κλάδων της βιομηχανίας, μειώνεται αισθητά, λόγω της οικονομικής ύφεσης. Από το 2000, τα κύρια εργαλεία για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στον τομέα την βιομηχανίας είναι επιχειρηματικά προγράμματα οικονομικής ενίσχυσης για την στήριξη επενδύσεων που στοχεύουν στην ορθολογική χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας, στα συστήματα ΣΗΘΥΑ και στους ηλεκτροκινητήρες, καθώς και στην προώθηση των ΑΠΕ. Παράλληλα, η εφαρμογή του συστήματος εμπορίας εκπομπών σε όλους τους ενεργοβόρους βιομηχανικούς κλάδους, καθώς και στις εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής, συνέβαλε στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του βιομηχανικού τομέα. Επιπλέον, καθιερώθηκε ένα ολοκληρωμένο νομοθετικό πλαίσιο για την προώθηση των συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ). Αποτέλεσμα των ανωτέρω ενεργειών είναι η σημαντική μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> [51]. Όμως, παρά τον σημαντικό ρόλο της ενεργειακής αποδοτικότητας, ο IEA σε πρόσφατη έκθεση εκτιμά ότι, υπό το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο, θα παραμείνουν αναξιοποίητες οι οικονομικά βιώσιμες δυνατότητες της ενεργειακής αποδοτικότητας κατά τα 2/3 ως το 2035 (σχήμα 6.11), καθότι είναι υποτιμημένη [50]. Τα σχέδια δράσης ενεργειακής αποδοτικότητας για την Ελλάδα αλλά και οι ευρωπαϊκοί στόχοι για το 2020 και το 2050 έχουν αναλυθεί στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο.



Εικόνα 6.11: Δυνατότητα εφαρμογής ενεργειακής αποδοτικότητας ανά τομέα έως το 2035

#### Β. Οφέλη απόκρισης της ζήτησης

Τα οφέλη του DR μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής [45] [46]:

### 1. Οφέλη για τους συμμετέχοντες καταναλωτές

Καταναλωτές που συμμετέχουν σε προγράμματα DR μπορούν να αναμένουν εξοικονόμηση χρημάτων από τους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος, εφόσον μειώσουν την κατανάλωσή τους σε περιόδους αιχμής. Άλλοι καταναλωτές θα είναι σε θέση να αυξήσουν την κατανάλωσή τους σε περιόδους εκτός αιχμής, χωρίς αυτό να προκαλέσει αύξηση του λογαριασμού τους. Επιπλέον, καταναλωτές που συμμετέχουν σε προγράμματα βασισμένα σε κίνητρα λαμβάνουν πληρωμές ανάλογα με τις επιδόσεις τους και τους όρους των συμβολαίων που έχουν υπογράψει.

### 2. Οφέλη αξιοπιστίας

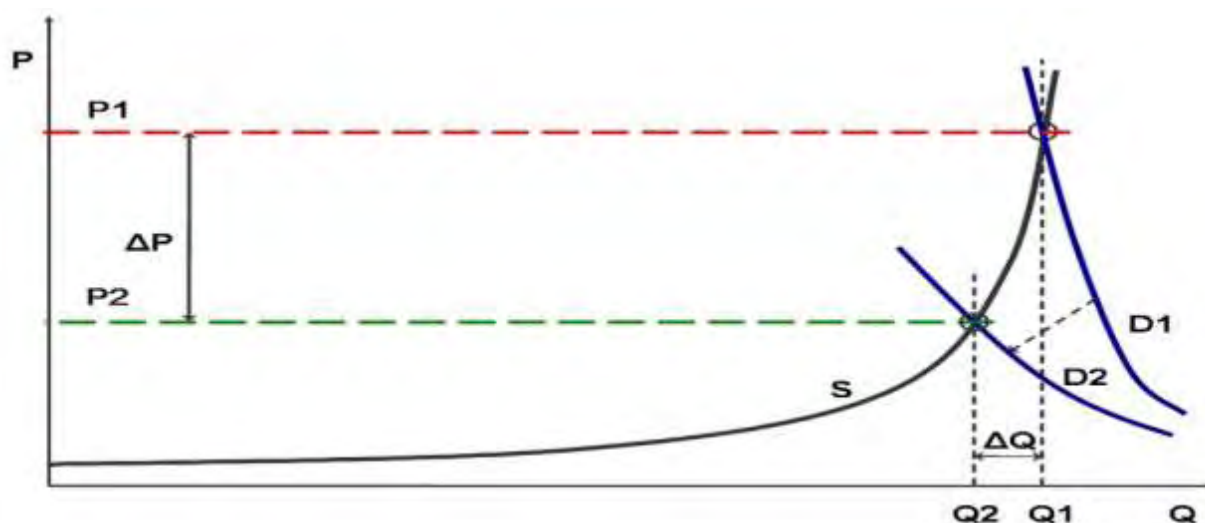
Με τη συμμετοχή τους σε προγράμματα DR, οι καταναλωτές συμβάλλουν στη μείωση του κινδύνου για ξαφνικές διακοπές στην τροφοδότηση. Έτσι, ο Διαχειριστής του Συστήματος έχει περισσότερες επιλογές και πόρους για να διατηρήσει σε υψηλά επίπεδα την αξιοπιστία του δικτύου και οι καταναλωτές απολαμβάνουν καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών. Όσον αφορά τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας, με τη βελτίωση της αξιοπιστίας αποφεύγουν της οικονομικές ζημιές που θα υπήρχαν σε περίπτωση μιας διακοπής. Η απόκριση ζήτησης μπορεί επίσης να αντικαταστήσει ένα ποσοστό της στρεφόμενης εφεδρείας που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση απότομων μεταβολών του φορτίου ή απροσδόκητη απώλεια κάποιας γεννήτριας.

### 3. Κοινωνικά οφέλη

Οφέλη από την εφαρμογή των προγραμμάτων DR δεν προκύπτουν μόνο για τους συμμετέχοντες αλλά και για όλη την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Μια συνολική τιμή μείωση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται λόγω της αποτελεσματικότερης χρήσης των διαθέσιμων υποδομών αλλά και της αποφυγής ή της μετάθεσης της κατασκευής νέων μονάδων παραγωγής. Η αποφυγή κατασκευής νέων μονάδων παραγωγής αλλά και η αποφυγή χρήσης των ήδη υπαρχόντων κατά τις ώρες αιχμής, σε συνδυασμό με τη μετακύλιση της κατανάλωσης σε περιόδους εκτός αιχμής οδηγεί και σε επιπλέον μείωση εκπομπών αερίων.

### 4. Οφέλη στη λειτουργία της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Ενισχύεται η απόδοση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αφού οι συμμετέχοντες στα προγράμματα DR έχουν την δυνατότητα να επηρεάσουν την αγορά και τις τιμές του ηλεκτρισμού κάνοντας τη ζήτηση περισσότερο ελαστική. Μειώνοντας την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ώρες αιχμής αποτρέπουν τις εταιρείες παροχής ηλεκτρισμού να αυξήσουν τις τιμές σημαντικά άνω του κόστους παραγωγής (σχήμα 5.16). Μικρή μείωση στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της εφαρμογής ενός DR προγράμματος σε ώρες αιχμής μπορεί να επιφέρει μεγάλη μείωση στο κόστος παραγωγής και κατά συνέπεια, σημαντική πτώση στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η συσχέτιση κόστους – ζήτησης έχει περιγραφεί αναλυτικότερα στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο.



*Εικόνα 6.12: Επίδραση του DR στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας*

Στην εικόνα 6.13 παρουσιάζονται συνοπτικά τα οφέλη των εμπλεκόμενων από τη συμμετοχή τους σε προγράμματα απόκρισης της ζήτησης [45].

Είδος οφέλους	Αποδοχείς οφέλους	Όφελος	Περιγραφή
Άμεσα οφέλη	Οι πελάτες που εφαρμόζουν DR	Οικονομικά οφέλη	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εξοικονόμηση στους λογαριασμούς</li> <li>Πληρωμές βασισμένες σε προγράμματα κινήτρων</li> </ul>
		Οφέλη αξιοπιστίας	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μειωμένη έκθεση σε ξαφνικές διακοπές</li> <li>Ευκαιρίες για μείωση κινδύνου διακοπών</li> </ul>
Έμμεσα οφέλη	Μερικοί ή όλοι οι καταναλωτές	Επίδραση στην αγορά ΗΕ	<ul style="list-style-type: none"> <li>Βραχυ-πρόθεσμα <ul style="list-style-type: none"> <li>Αποδοτική μείωση του οριακού κόστους κατά τη διάρκεια γεγονότων</li> <li>Βραχυπρόθεσμη επίδραση στις απατήσεις του ΣΗΕ</li> </ul> </li> <li>Μακρο-πρόθεσμα <ul style="list-style-type: none"> <li>Αποφυγή ή αναβολή κόστους αναβάθμισης του ΔΔ και του ΣΜ</li> <li>Μειωμένη ανάγκη παρέμβασης στην αγορά</li> </ul> </li> </ul>
		Οφέλη αξιοπιστίας	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μειωμένη πιθανότητα και συνέπειες αναγκαστικών διακοπών</li> <li>Διαθεσιμότητα πόρων για διατήρηση αξιοπιστίας</li> </ul>
		Περισσότερο ισχυρές λιανικές αγορές	<ul style="list-style-type: none"> <li>Προγράμματα που παρέχουν καινοτομία και ανταγωνισμό στις λιανικές αγορές</li> </ul>
Άλλα οφέλη	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μερικοί ή όλοι οι καταναλωτές</li> <li>Οι Διαχειριστές του δικτύου</li> </ul>	Βελτιωμένες επιλογές	<ul style="list-style-type: none"> <li>Καταναλωτές και Διαχειριστές έχουν τη δυνατότητα επιλογής βαθμού αντιστάθμισης</li> <li>Δυνατότητα διαχείρισης ενεργειακού κόστους από τους καταναλωτές</li> </ul>
		Οφέλη στην επίδραση της αγοράς	<ul style="list-style-type: none"> <li>Η ελαστική ζήτηση και η αυξανόμενη διείσδυση προγραμμάτων DR μειώνουν την απαιτούμενη ισχύ που παρέχεται από την αγορά</li> </ul>
		Πιθανά περιβαλλοντικά οφέλη	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μείωση των εκπομπών αερίων από ρυπογόνα εργοστάσια σε ώρες αιχμής</li> </ul>
		Ενεργειακή ανεξαρτησία-ασφάλεια	<ul style="list-style-type: none"> <li>Η τοπικότητα πόρων παρέχει ενεργειακή ανεξαρτησία και μειώνει την ανάγκη εξωτερικής παραχής</li> </ul>

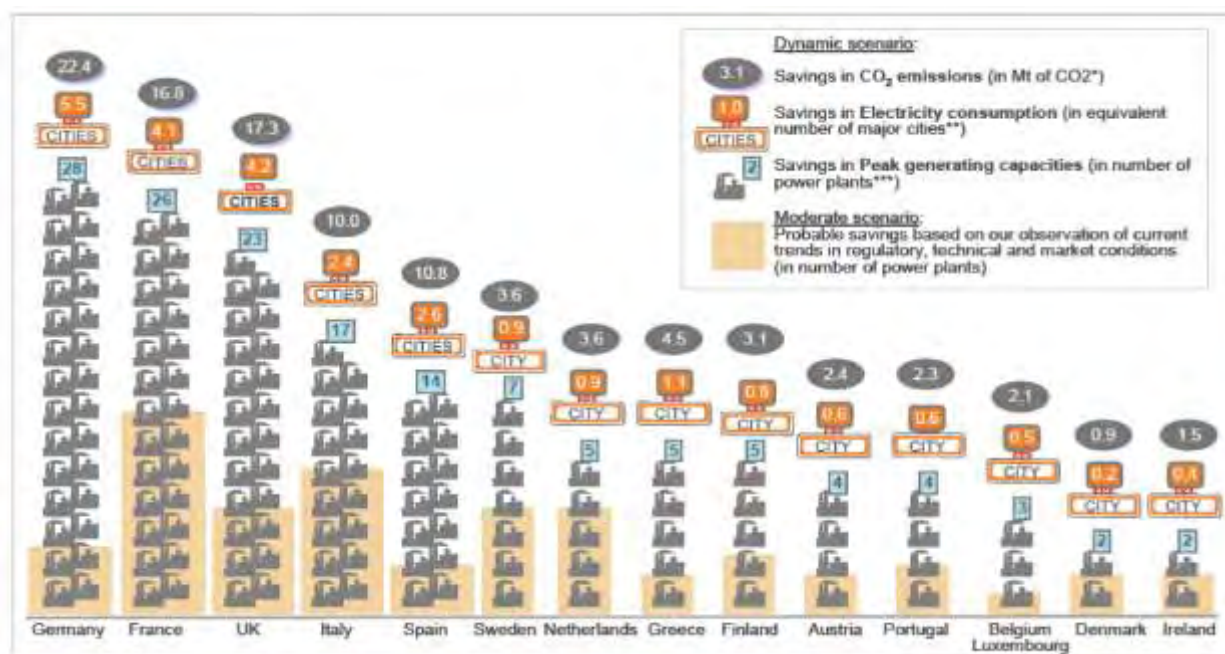
*Εικόνα 6.13: Οφέλη απόκρισης ζήτησης ανά κατηγορία*

Σύμφωνα με έρευνα που διενεργήθηκε σε 15 χώρες της Ευρώπης με αντικείμενο την επίδραση των προγραμμάτων DSM σε οικιακούς και εμπορικούς καταναλωτές, παρουσιάστηκαν δύο σενάρια [52]. Το δυναμικό σενάριο βασίζεται στη βέλτιστη ενσωμάτωση των προγραμμάτων DR, όπου μαζί με πρόσθετα μέτρα θα εκπληρώσουν τους στόχους της ΕΕ για το 2020. Το μετριοπαθές υποθέτει ότι η ανάπτυξη της ευρωπαϊκής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας θα συνεχίσει να έχει την ίδια πορεία με σήμερα, δηλαδή περιορισμένες δράσεις και πρωτοβουλίες για την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι μόνο το 40% των αναγκαίων μέτρων για την επίτευξη των στόχων 20-20-20 θα έχουν τεθεί σε εφαρμογή μέχρι το 2020.

Τα αποτελέσματα της έρευνας εστιάζουν σε τρεις παραμέτρους:

- Εξοικονόμηση ισχύος σε GW και ενέργειας σε TWh
- Εξοικονόμηση χρημάτων σε €
- Εξοικονόμηση εκπομπών σε CO<sub>2</sub>

Όπως φαίνεται στο σχήμα 6.14, σύμφωνα με το δυναμικό σενάριο, η επιτυχής εφαρμογή της απόκρισης ζήτησης στην Ελλάδα μπορεί να συντελέσει στην αποτροπή ανάγκης δημιουργίας 5 θερμοηλεκτρικών μονάδων της τάξης των 500 MW, στην εξοικονόμηση ενέργειας ίσης με αυτή που καταναλώνεται από μια πόλη 2m κατοίκων και 150k εμπορικών καταστημάτων, και στη μη έκλυση 4.5Mt CO<sub>2</sub>. Το μετριοπαθές σενάριο προβλέπει την αποτροπή ανάγκης δημιουργίας 2 θερμοηλεκτρικών μονάδων.



*Εικόνα 6.14: Πρόβλεψη της επίδρασης του DR στις 15 χώρες της ΕΕ-15 έως το 2020*



Τα προγράμματα απόκρισης ζήτησης περιλαμβάνουν κάποιο κόστος τόσο για τις επιχειρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας όσο και για τους καταναλωτές που συμμετέχουν στα προγράμματα. Ο καταναλωτής ενδέχεται να χρειαστεί να εγκαταστήσει νέες τεχνολογίες, οι οποίες περιλαμβάνουν θερμοστάτες, IHDs, σύστημα διαχείρισης ενέργειας και τοπικές μονάδες παραγωγής. Επίσης, απαιτείται η ύπαρξη κάποιου σχεδίου ή στρατηγικής απόκρισης, που θα εφαρμοστεί σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Αυτό το αρχικό κόστος πληρώνεται συνήθως από τον ίδιο τον καταναλωτή, ενώ η τεχνική υποστήριξη παρέχεται από το διαχειριστή του προγράμματος. Τα λειτουργικά έξοδα των καταναλωτών σχετίζονται με τα διάφορα DR γεγονότα και εξαρτώνται από το σχέδιο απόκρισης.

Το αρχικό κόστος των επιχειρήσεων αφορά την τοποθέτηση σύγχρονων μετρητικών συστημάτων για τη μέτρηση, την αποθήκευση και την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης και το κόστος για εκπαίδευση των συμμετεχόντων. Τα λειτουργικά έξοδα αφορούν το κόστος διαχείρισης και διοίκησης, καθώς και τις πληρωμές ως αντάλλαγμα στη συμμετοχή των καταναλωτών σε σχετικά προγράμματα.

<b>Κόστος για τους συμμετέχοντες</b>	<b>Αρχικό κόστος</b>	Εγκατάσταση απαραίτητης τεχνολογίας
		Σχεδιασμός των προγραμμάτων απόκρισης ζήτησης
	<b>Λειτουργικό κόστος</b>	Απώλεια ανέσεων
		Επανασχεδιασμός χρονοδιαγράμματος
		Μονάδες αυτοπαραγωγής
<b>Κόστος για το σχεδιαστή/λειτουργό του προγράμματος</b>	<b>Αρχικό κόστος</b>	Εγκατάσταση συστήματος τηλεμέτρησης
		Συστήματα αυτόματων πληρωμών
		Εκπαίδευση καταναλωτών
	<b>Λειτουργικό κόστος</b>	Διαχείριση και διοίκηση
		Πληρωμές για τους συμμετέχοντες
		Προώθηση προγραμμάτων και ενημέρωση
		Αξιολόγηση προγραμμάτων
		Συντήρηση και αναβάθμιση εξοπλισμού

**Εικόνα 6.15: Κόστος εφαρμογής προγραμμάτων DR**



## 7. Βιβλιογραφία

- [1] Ν. Βοβός, Γ. Γιαννακόπουλος, «Έλεγχος και ευστάθεια συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας», 2008
- [2] ΑΔΜΗΕ, «Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας», [Ηλεκτρονικό]. [www.admie.gr](http://www.admie.gr).
- [3] ΑΔΜΗΕ, Πρόγραμμα Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς 2014-2023.
- [4] ΔΕΔΔΗΕ, «Διαχειριστής Ελληνικού Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας», [Ηλεκτρονικό]. [www.deddie.gr](http://www.deddie.gr).
- [5] Βουρνάς Κ. και Παππαδιάς Β., Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας- Έλεγχος και Ευστάθεια Συστήματος, Αθήνα: Σ. ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ % ΣΙΑ Ο.Ε., 2010.
- [6] Portal The Shift Project Data, «Browse Energy and Climate Data», [Ηλεκτρονικό]. [www.tsp-data-portal.org](http://www.tsp-data-portal.org).
- [7] ΥΠΕΚΑ, «ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ», [Ηλεκτρονικό]. [www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr).
- [8] ΔΕΔΔΗΕ, «Ηλεκτρική Παραγωγή στα Μη διασυνδεδεμένα Νησιά», [www.deddie.gr](http://www.deddie.gr).
- [9] ΛΑΓΗΕ, «Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας», <http://www.lagie.gr/agora/analysiagoras/miniaia-deltia-iep/>, Μηνιαία Δελτία ΗΕΠ.
- [10] ΑΔΜΗΕ, «Μηνιαία Δελτία Παραγωγής ενέργειας», (ηλεκτρονική διεύθυνση) [www.admie.gr](http://www.admie.gr)
- [11] ΡΑΕ, «Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας», [Ηλεκτρονικό]. [www.rae.gr](http://www.rae.gr).
- [12] ΛΑΓΗΕ, «Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας», [Ηλεκτρονικό]. [www.lagie.gr](http://www.lagie.gr)
- [13] ΔΕΣΜΗΕ, «[www.desmie.gr](http://www.desmie.gr)», 2010. [Ηλεκτρονικό]. [http://www.desmie.gr/fileadmin/groups/EDSHE/FortisiMonadon/Settlement\\_Manual\\_v1.1.pdf](http://www.desmie.gr/fileadmin/groups/EDSHE/FortisiMonadon/Settlement_Manual_v1.1.pdf).
- [14] ΡΑΕ, Γενικές Διατάξεις , κεφάλαιο 33 , Τμήμα VI Εκκαθάριση Αποκλίσεων, <http://www.rae.gr/old/codes/proposal/V1/CodeV1-6.pdf>.
- [15] Janaka Ekanayake, Kithsiri Liyanage και Jianzhong Wu, SMART GRID Technology And Applications, United Kingdom ISBN 978-0-470-97409-4: WILEY, 2012.
- [16] [http://rael.berkeley.edu/old\\_drupal/sites/default/files/old-site-files/2001/Herzog-Lipman-Kammen-RenewableEnergy-2001.pdf](http://rael.berkeley.edu/old_drupal/sites/default/files/old-site-files/2001/Herzog-Lipman-Kammen-RenewableEnergy-2001.pdf)
- [17] Schleicher-Tappeser και Ruggero, «How renewables will change electricity markets in the next five years», Energy Policy, pp. 64-75, Vol.48 2012.

- [18] <http://pserc.wisc.edu/research/futuregrid.aspx>
- [19] ΔΕΔΔΗΕ, «Η παρουσία και ο ρόλος του ομίλου της ΔΕΗ στη σημερινή οικονομική και κοινωνική πραγματικότητα,» ΤΕΕ, ΑΘΗΝΑ, Νοέμβριος 2013.
- [20] Κόλλιας, Γεώργιος, «Ο ρόλος των δικτύων στο εξηλεκτρισμό της Ελλάδας και η μελλοντικής τους εξέλιξη,» Πρόεδρος ΔΕΔΔΗΕ, 2013.
- [21] ΥΠΕΚΑ, «Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός - Οδικός Χάρτης για το 2050,» Ε.Ε. και Ελλάδα, 2012
- [22] Γεωργαντζής, Δρ. Γ., «Ο ρόλος του ΑΔΜΗΕ στην ασφάλεια εφοδιασμού της χώρας με ΗΕ,» Ημερίδα ΤΕΕ - ΑΘΗΝΑ, 8/11/2013.
- [23] Διαλυνάς, Ευάγγελος Ν., Αξιοπιστία ΣΗΕ, ΑΘΗΝΑ: Εκδόσεις ΕΜΠ, 1996.
- [24] A. A. Chowdhury, Sudhir Kumar Agarwal και Don O. Kova, «Reliability Modeling of Distributed Generation in Conventional Distribution Systems Planning and Analysis,» IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS vol 39 / No 5, SEPTEMBER/OCTOBER 2003.
- [25] Τράπεζα της Ελλάδος, «Έκθεση του διοικητή για το έτος 2013,» ΤτΕ, Αθήνα, 2013.
- [26] European Commission, «"Energy Efficiency Plan 2011" COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS,» Commission, European, Brussels, 2011.
- [27] ΥΠΕΚΑ, «Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας,» ΥΠΕΚΑ, Ε.Ε και Ελλάδα, 2010.
- [28] Niklas Rotering και Marija Ilic, «Optimal Charge Control of Plug-In Hybrid Electric Vehicles in Deregulated Electricity Markets,» IEEE Transaction on Power Systems Vol.26, No 3, pp. 1021- 1029, August 2011.
- [29] Zhongjing Ma, Duncan Gallaway και Ian Hiskens, «Decentralized Charging Control for Large Populations of Plug-In Electric Vehicles,» σε 49th IEEE Conference on Decision and Control, Atlanta USA, December 2010.
- [30] Department of Energy, «COMMUNICATIONS REQUIREMENTS OF SMART GRID TECHNOLOGIES,» 2010.
- [31] Angeliki M. Sarafi, Georgios I. Tsiropoulos, and P, «Hybrid Wireless-Broadband over Power Lines: A Promising Broadband Solution in Rural Areas,» 2009.
- [32] «Εγχειρίδιο Τηλεμέτρησης Μετρητών και Μετρήσεων Μ.Τ.,» ΔΕΔΔΗΕ, Αθήνα, 2011.
- [33] Κων/νος Ανδρεάδης, «Ευφυή Συστήματα Μέτρησης και Διαχείρισης Ηλεκτρικής Ενέργειας,» ΔΕΔΔΗΕ, 2014
- [34] Vehbi C. Gungor, Dilan Sahin, Taskin Kocak, Salih , Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards, IEEE Trans. Industrial Informatics, 2011.

- [35] Mark McGranaghan, «Systems, Overview of DMS Applications and Requirements for Modern Distribution,» CIRED , EPRI, Stockholm, 2013.
- [36] «The dynamic behavior of PMU and the latest development in China,» North China Electric Power University, 2013.
- [37] Electricity transmission, distribution and storage systems, woodhead publishing, 2013.
- [38] DOE Global Energy Data Base, «<http://www.energystorageexchange.org/>,» [Ηλεκτρονικό]
- [39] Ι. Αργυράκης διευθυντής διεύθυνσης υδροηλεκτρικής , «Εκμετάλλευση των ΥΗΣ ως έργων πολλαπλού σκοπού 2008».ΔΕΗ.
- [40] DOE Global Energy Data Base, «<http://www.energystorageexchange.org/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [41] «Smart Control of Energy Distribution Grids over Heterogeneous Communication Networks,» <http://smartc2net.eu/>, 2013.
- [42] John D. McDonald, «Substation automation and smart grid».
- [43] Jim Weikert, Power System Engineering.
- [44] North American Electric Reliability Corporation, «Demand Response Availability Data System,» nerc.com, USA, January 2011.
- [45] D. US Department of Energy, «Benefits of demand response in electricity markets and recommendations for achieving them,» DOE, USA, February 2006.
- [46] Charles Goldman, Michael Reid, Roger Levy και Alison Silverst, «Coordination of Energy Efficiency and Demand Response,» ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY, USA, January 2010.
- [47] New York Independent System Operator, NYISO, «Emergency Demand Response Program Manual,» New York Independent System Operator, New York, October 2013.
- [48] DEPARTMENT OF ENERGY, DOE, «COMMUNICATIONS REQUIREMENTS OF SMART GRID TECHNOLOGIES,» DOE, USA, October 5, 2010.
- [49] Lawrence Berkeley National Laboratory, «OPEN AUTOMATED DEMAND RESPONSE COMMUNICATIONS SPECIFICATION,» USA, 2011.
- [50] International Energy Agency, Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency, IEA, 2014.
- [51] <http://www.odyssee-mure.eu/>, Energy Efficiency Policies and Measures in Greece, Athens: ΚΑΠΕ, December 2012.
- [52] Capgemini, VaasaEtt και Enerdata, «Demand Response: a decisive breakthrough for Europe»

